

室蘭工業大学紀要 第63号 全1冊

その他（別言語等） のタイトル	Memoirs of the Muroran Institute of Technology vol.63
journal or publication title	Memoirs of the Muroran Institute of Technology
volume	63
year	2014-03-18
URL	http://hdl.handle.net/10258/2819

ISSN 1344-2708

No.63

Mar.2014

MEMOIRS
of
THE MURORAN
INSTITUTE OF
TECHNOLOGY

MURORAN INSTITU
INSTITUTE OF TEC
OF TECHNOLOGY MU
TECHNOLOGY MU
MURORAN INSTITU
INSTITUTE OF TEC
OF TECHNOLOGY MU
TECHNOLOGY MU
MURORAN INSTITU
INSTITUTE OF TEC
OF TECHNOLOGY MU
TECHNOLOGY MU

室蘭工業大学
紀 要

第63号 平成26年 3 月

MURORAN HOKKAIDO
JAPAN

目 次

依 頼 論 文

特 集：「希土類研究プロジェクトの軌跡」

まえがき

.....	平井 伸治	1
1. カゴ状希土類化合物における局在非調和フォノンによる熱伝導率低減機構の解明		
(1) カゴ状希土類化合物におけるラットリング効果による熱伝導率低減機構の解明	関根 ちひろ, 川村 幸裕, 武田 圭生, 澤口 直哉, 酒井 彰, 中根 英章	3
(2) $\text{CeFe}_4\text{Sb}_{12}$, $\text{RCo}_4\text{As}_{12}$ の原子振動シミュレーション	澤口 直哉, 福士 明宏, 伊端 優祐, 関根 ちひろ, 佐々木 眞	9
(3) カゴ状物質における熱電変換材料の探索	川村 幸裕, 関根 ちひろ	13
2. 希土類の特性を活かした高度なサステナビリティを有する材料およびプロセス開発		
(4) 希土類の特性を活かした高度なサステナビリティを有する材料およびプロセス開発	葛谷 俊博, 佐々木 眞, 平井 伸治, 中根 英章, 桃野 正, 田湯 善章	17
(5) 希土類酸化物で修飾した W 電界放射陰極の仕事関数	中根 英章, 武田 紘己	23
3. 高効率な新規低温冷凍機用の希土類化合物材料の合成		
(6) 低温ペルチェ冷却用超伝導材料の最適ホール濃度	桃野 直樹, 阿部 哲, 田島 健士, 清水 茉椰, 守屋 佑基, 原田 諒佑 シュテファン バール, 戎 修二, 酒井 彰	27

4. 高性能磁気熱変換材料の開発	
(7) 高性能磁気熱変換材料の開発を目指して	
..... 戎 修二, 阿波加 淳司, 藤 耕一郎	33
5. 構造依存希土類合金の開発と磁気熱量・熱弾性材料への展開	
(8) 構造依存希土類合金の開発と磁気熱量・熱弾性材料への展開	
..... 雨海 有佑, 塩尻 泰広, 鈴木 拓也, 石原 圭, 村山 茂幸	37
6. 鋳鉄・アルミニウム溶湯処理に及ぼすレアアースの効果	
(9) 鋳鉄・アルミニウム溶湯処理に及ぼすレアアースの効果	
..... 長船 康裕, 田湯 善章, 桃野 正	41
(10) アルミニウム合金の拡散接合における希土類元素添加の影響	
..... 田湯 善章	45

投 稿 論 文

○学術論文

ヒグマをめぐる札幌市民の意識と行動	
..... 亀田 正人	49
Five National News Programs on the Great East Japan Earthquake 2011	
..... クラウゼ=小野・マルギット	63
ノルウェー語 Sandnes (サンネス) 方言における音調のアクセント論的解釈	
..... 三村 竜之	77
地方自治体による電力計画の策定に向けた一考察	
..... 小野 悟, 永井 真也	93
生徒と教師間における「ゆとり教育」の受け止め方の比較	
..... 今野 博信	99

○研究報告

擬似夜明け療法のための効果的照明方法の検討と装置開発湯浅 友典, 三浦 淳, 千葉 武雄, 佐々木 春喜, 相津 佳永	111
擬似夜明け療法による生体リズム位相調節の試み三浦 淳, 湯浅 友典, 千葉 武雄, 相津 佳永, 佐々木 春喜	117
オーストラリアおよびニュージーランドにおける社会政策の現状から学ぶ ー公共サービス、言語教育、ジェンダー平等の観点からーハグリー・エリック, 清末 愛砂, 永井 真也	123
2008 年四川大地震後の被災教員の経験とその特徴 ー発災 5 年目の現地インタビューー 賈 冉, 前田 潤	135

○教育改善報告

流体運動と電磁場のアナロジーを用いて理解促進を目指した学生実験 湧き出し・吸い込みと二重湧き出し 高木 正平	145
-----------------------------------------------------------------	-----

CONTENTS

Invited Papers

Specials : Tracks of Rare Earth Research Project

Preface.....	1
<i>Shinji HIRAI</i>	
1. Mechanism of Thermal Conductivity Reduction by Anharmonic Local Phonons in Rare Earth Compounds with Cage-Like Structure	
(1) Mechanism of Thermal Conductivity Reduction by Rattling Effect in Rare Earth Compounds with Cage-Like Structure	3
<i>Chihiro SEKINE, Yukihiro KAWAMURA, Keiki TAKEDA, Naoya SAWAGUCHI, Akira SAKAI, and Hideaki NAKANE</i>	
(2) Simulated Vibration of Atoms in $\text{CeFe}_4\text{Sb}_{12}$ and $\text{RCO}_4\text{As}_{12}$	9
<i>Naoya SAWAGUCHI, Akihiro FUKUSHI, Yusuke IBATA, Chihiro SEKINE, and Makoto SASAKI</i>	
(3) A Search of Thermoelectric Conversion Material in Cage-Like Compounds	13
<i>Yukihiro KAWAMURA, and Chihiro SEKINE</i>	
2. The Development of Advanced Rare Earth Materials and Metallurgical Process with High Sustainability	
(4) The Development of Advanced Rare Earth Materials and Metallurgical Process with High Sustainability	17
<i>Toshihiro KUZUYA, Makoto SASAKI, Shinji HIRAI, Hideaki NAKANE, Tadashi MOMONO, and Yoshiaki TAYU</i>	
(5) W Field Emission Cathode Covered with Rare Earth Oxide Mono-Layer.....	23
<i>Hideaki NAKANE, and Hiroki TAKEDA</i>	

3.	Development of Rare Earth Compounds for a New High-efficiency Low-Temperature Refrigerator	
(6)	Study on the Optimal Hole Concentration of High- T_c Superconductors for Low Temperature Peltier Refrigeration.....	27
	<i>Naoki MOMONO, Satoshi ABE, Takeshi TAJIMA, Maya SHIMIZU, Yuki MORIYA, Ryosuke HARADA, Stefan BAAR, Shuji EBISU, and Akira SAKAI</i>	
4.	Development of High Performance Magnetocaloric Materials	
(7)	Aiming for High Performance Magnetocaloric Materials	33
	<i>Shuji EBISU, Junji AWAKA, and Koichiro FUJI</i>	
5.	Development of Magnetocaloric and Thermoelastic Materials in Structure - dependent Rare Earth Alloys	
(8)	Development of Magnetocaloric and Thermoelastic Materials in Structure - dependent Rare Earth Alloys	37
	<i>Yusuke AMAKAI, Yasuhiro SHIOJIRI, Takuya SUZUKI, Kei ISHIHARA, and Shigeyuki MURAYAMA</i>	
6.	Effect of Rare Earth Element on Melt Process for Cast Iron and Aluminum	
(9)	Effect of Rare Earth Element on Melt Process for Cast Iron and Aluminum	41
	<i>Yasuhiro OSAFUNE, Yoshinori TAYU, and Tadashi MOMONO</i>	
(10)	Effects of Rare Earth Elements on Diffusion Bonding of Aluminum Alloy	45
	<i>Yoshinori TAYU</i>	

Papers

○Article

Residents' Attitudes and Behaviors Toward Brown Bears in Sapporo	49
<i>Masato KAMEDA</i>	
Five National News Programs on the Great East Japan Earthquake 2011	63
<i>Margit KRAUSE-ONO</i>	

An Accentological View of Tones and Tunes in Sandnes Norwegian	77
<i>Tatsuyuki MIMURA</i>	
Research on the Electricity Planning of Local Government in Japan	93
<i>Satoru ONO, Shinya NAGAI</i>	
A Comparative Research on Acceptance of “YUTORI KYOIKU” in Students and Teachers	99
<i>Hironobu KONNO</i>	

○Research report

Development of light therapy apparatus using dawn simulation	111
<i>Tomonori YUASA, Jun MIURA, Takeo CHIBA, Haruki SASAKI, and Yoshihisa AIZU</i>	
Phase Shift of Biological Rhythm by Dawn Simulation—A Preliminary Report	117
<i>Jun MIURA, Tomonori YUASA, Takeo CHIBA, Yoshihisa AIZU, and Haruki SASAKI</i>	
Public Services, Language Education, and Gender Equality from the Viewpoint of Australia and New Zealand’s Present Social Policy	123
<i>Eric HAGLEY, Aisa KIYOSUE, and Shinya NAGAI</i>	
Characteristic of the Experience of the Suffering Teachers after 2008 Sichuan Great Earthquake—Based on the interview in affected area at 5th year	135
<i>RAN JIA, and Jun MAEDA</i>	

○Educational improvement report

A Simple Laboratory Experiment Exploiting the Analogy between Potential Flow and Electromagnetism for Use as a Heuristic Aid—Source-Sink and Double	145
<i>Shohei TAKAGI</i>	

特 集

まえがき

環境調和材料工学研究センター センター長 平井 伸治

本学第 2 期中期目標期間における重点研究プロジェクト「希土類に関連した再生可能エネルギー材料科学およびサステナブル材料開発」, 通称, 希土類研究プロジェクトを立ち上げた理由を問われると, いつも決まったように次のように答えている. 平成 22 年の重点研究プロジェクトスタート当時, 155 名の工学系教員の中で 13% (20 名) の教員が希土類に関連した研究に従事していたこと, 世界的に著名なグメリンの無機化合物辞典の希土類元素に関する分冊を丸ごと担当しているロシア科学アカデミー・シベリア支部・ニコラエフ無機化学研究所と学術交流協定を締結していること, 世界の 50% 以上の希土類資源生産量を誇るバイユウインオボ鉱床の近くに位置する内蒙古師範大学と学術交流協定を締結していること, と言った具合である. 実は, 本学を希土類研究の拠点にしようとする発想は, 平成 13 年頃からあった. 当時, 図書館長であった故三澤俊平先生の音頭の下, 嶋影和宜先生, 城谷一民先生, 見城忠男先生らが中心となり, 希土類をテーマにグローバル COE に二度ほどチャレンジされたことを記憶している. 正しく, 先生方は外国の大学や研究機関の助けを借りることなく, 自分達の研究のポテンシャルのみにより本学を希土類研究の拠点にしようと考えていた. それから約 10 年, 資源ナショナリズムによる希土類価格の高騰をきっかけに老若男女を問わず希土類を知るようになった. また今日では, その危機に対応すべくサプライチェーンが一丸となった使用量削減と鉱山の再開により, 供給不足から一転し, 一部の元素を除いて過剰傾向になりつつある.

研究に目を向けると, 希土類の実質的な対日禁輸措置の引き金になった平成 22 年 9 月の尖閣諸島中国漁船衝突事件を境に, 希土類の用途拡大の研究は影を潜め, 次第に元素戦略と銘打った希土類を使用しない代替材料の研究が主流となった. 希土類プロジェクトは奇しくも平成 22 年 9 月 7 日の事件のおよそ一か月前の 7 月 22 日にスタートした. このようなスタートを可能にしたのは, 三澤, 嶋影, 城谷, 見城各先生はもちろんのこと, 佐藤一彦学長他, 当時の執行部の方々に先見の目

があったからに違いないと思っている.

希土類研究プロジェクトの軌跡は後半に述べるとして, プロジェクトの特徴の一つである研究方法について触れておく. プロジェクト経費は, 各教員に配分されるべき運営交付金が原資であるから, 並大抵の成果では通用しないことは十分承知している. 当初は, 学際研究を展開し, 各プロジェクトメンバーの専門性が多面的な視点の一つに加わる機会さえあれば, それらの融合により必ず解決策が見出せるなどと, 留学帰りの研究者が良く言う台詞を謳い文句にしていた. 結果的に, 研究では一国一城の主であるメンバー達には学際研究は不向きであることがわかり, センターで行う研究は外部委員により選定された課題に対し任務編成型のタスクグループを編成, メンバーが集団で課題を解決しようとするタスク型研究のみとし, メンバー個人が通常行うコマンド型研究には予算措置を行わないことにした. このタスク型研究については, 各タスク間で温度差はあるものの, 目的を共有し, 時限付きであるからこそメンバー間に連帯感が芽生え, 結果的に目的達成までの時間が短縮されるものと考えている. 成果が出れば, タスク単位で競争的資金の申請も期待され, やがては運営交付金に頼ることなく独立採算で運営できることを目指している.

最後に希土類研究プロジェクトの概要について触れておく. プロジェクトでは, 再生可能エネルギー材料, サステナブル材料の機能や特性の発現における希土類元素の役割を明確にし, 希土類元素の使用量の極限までの少量化や資源的に豊富な元素による代替, さらにリサイクル方法の提案の他, 希土類元素が発揮するこれまでにない機能を追求する研究を推進してきた. 結果的に, 今日では一部の希土類元素を除いて軽希土類を中心に過剰供給傾向になりつつあるにもかかわらず, 世の中の多くの大学, 研究機関が頑なに元素戦略に向かっているのに対し, 希土類研究プロジェクトは, 希土類元素が発揮するこれまでにない機能の追求, すなわち新しい用途の開発を実践し続けており, 現在では先駆的かつ希少な研究組

織であると外部から評価されるに至った。研究の実施形態は、外学有識者から構成された課題選定・評価委員が選定した課題を、戦略性と機動性を重視しながら複数の教員で取り組む任務編成型のタスク型を貫いてきた。平成 22、23 年度は「高度なサステナビリティを有する材料及びプロセス開発」、「高性能磁気熱変換材料の開発」、「カゴ状希土類化合物における局在非調和フォノンによる熱伝導率低減機構の解明」の 3 タスク、平成 24 年度は「高効率な新規低温冷凍機用の希土類化合物材料の合成」、「環境調和を考慮した新熱電変換材料の開発」、「鋳鉄・アルミニウムの溶湯処理に及ぼすレアアースの効果」、「構造依存型希土類合金の開発と磁気熱量・熱弾性材料への展開」、「希土類の特性を活かした高度なサステナビリティを有する材料およびプロセス開発」の 5 タスクが選定され、この 5 タスクはセンター移行後も継続している。

成果は、当初、4 年の実施期間を想定し、約 100 報（1 人当たり平均 6 報）の論文、国際学会プロシーディングスの他、全国大会レベルの国内学会、国際学会で約 300 件（一人当たり約 18 件）の口頭またはポスター発表を行うことを目標に掲げた。スタートから 2 年 8 か月の短期間あったが、著書が 2 冊、論文数は 93 報（平成 22 年度 2.07 報/人、平成 23 年度 2.57 報/人、平成 24 年度 1.73 報/人）あり、どうにか目標値に迫ることができた。また、国際学会発表は 76 件、国内学会発表は 273 件、依頼講演も 10 件を数え、こちらは軽々と目標を達成することができた。特許については出願済みのものが 3 件、学内知財委員会了承済みで出願準備中のものが 1 件ある。外部資金については、競争的資金に積極的に応募することを目指していたが、平成 25 年度採択分を含めて科研費で 9 件、環境省科研費で 1 件、さらに JST で 3 件の補助金の採択があり、まずまずの成果と言える。

また、平成 23 年 7 月には以前から本プロジェクトと親交があったロシア科学アカデミー・ヨッヘ物理技術研究所と本学との間で学術交流協定を締結するに至った。この研究所は 5 名のノーベル賞受賞者を輩出している長い歴史を誇るロシア有数の研究所であり、平成 17 年に一足早く本学と学術交流協定を締結しているロシア科学アカデミー・シベリア支部・ニコラエフ無機化学研究所と併せて、希土類研究に関する国際的ネットワークの構築に向けての研究拠点となることが期待される。当プロジェクトでは、博士研究員の運用方法に工夫を凝らし、1 名の雇用枠のなかで、ニコラエフ無機化学研究所、ヨッヘ物理技術研究所から計 3 人の博士研究員を 3 か月間雇用する方式を採用し、全体で 5 人の博士研究員を運用した。この他、平成 24 年と 25 年に希土類代替材料に関

する研究でインド工科大学ムンバイ校から短期インターンシップ学生を受け入れ、今後、同大学から定期的に短期インターンシップ学生を受け入れることを考えている。

プロジェクトが催した講演会は、平成 22 年度は計 6 回の講演会を催し、学外から外国人 1 名を含む 12 名の講師を招聘した。平成 23 年度は「室蘭工業大学と一緒に考えるこれからのエネルギー社会に向けて」というキャッチコピーの下で環境科学・防災研究センターと共催で札幌と室蘭で計 2 回の講演会を含め合計 5 回の講演会を催し、学外から 10 名の講師を招聘している。平成 24 年度は、本学主催の蘭岳セミナーを 2 回共催している他、環境調和材料工学研究センターのキックオフミーティングをサポートし、学外から 14 名の講師を招聘している。また、毎年、本学のオープンキャンパスや JST のサイエンス・パートナーシップ・プログラムに積極的に参加し、高校生への啓蒙活動を行なってきた他、AUTM Asia 2013 Kyoto、工学フォーラム 2013 などにも参加し、プロジェクトやセンターの活動を紹介してきた。

この他、平成 23 年 12 月には、本プロジェクトから提案させていただいた高度な専門職業人の養成や専門教育機能の充実を目的とした『室蘭工業大学「ムロランマテリアルズ」創成教育プログラム』が文部科学省の特別概算要求で認められ、平成 24 年 4 月から学生を受け入れている。平成 24 年度は 25 名が受講し、平成 25 年度は 20 名が受講中である。

また、プロジェクトに参画する教員が指導した学生の表彰では、平成 24 年 11 月末に米国ポストンで開催された 2012MRS Fall Meeting において、大学院博士前期課程 2 年の学生が希土類熱電材料の代替材料の開発を目指した研究を発表し、Student Poster Presentation Award を受賞する機会に恵まれた。

以上のようにプロジェクトスタート当時に掲げた目標は、2 年 8 か月の短期間にしては達成できたものと自負している。しかし、最終目標である新産業創出ともなるとこれからに期待しなくてはならない。希土類を巡る世の中の動向ですら、プロジェクトのスタート当初とは大きな変化を見せている。環境調和材料工学研究センターへの移行や教育プログラムの実施により室蘭工業大学の希土類研究の環境が整いつつある中で、希土類の用途拡大のための研究は我々の使命であり、総力を挙げて取り組む必要がある。

この特集号では希土類研究プロジェクトが推進してきたタスクグループによる研究成果を報告する。

カゴ状希土類化合物におけるラットリング効果 による熱伝導率低減機構の解明

関根 ちひろ^{*1,*2}, 川村 幸裕^{*2}, 武田 圭生^{*1,*2}, 澤口 直哉^{*1,*2}, 酒井 彰^{*3,*2}, 中根 英章^{*1,*2}

Mechanism of Thermal Conductivity Reduction by Rattling Effect in Rare Earth Compounds with Cage-Like Structure

Chihiro SEKINE^{*1,*2}, Yukihiro KAWAMURA^{*2}, Keiki TAKEDA^{*1,*2}, Naoya SAWAGUCHI^{*1,*2}
Akira SAKAI^{*3,*2}, and Hideaki NAKANE^{*1,*2}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

Rare earth compounds with a cage-like structure have been actively studied as potentially useful thermoelectric material because the compounds are believed to have low lattice conductivity due to a local anharmonic vibration of guest ions inside the cage. We have synthesized new skutterudite compounds, which are typical materials with a cage-like structure, and investigate their crystallographic, transport, thermoelectric properties in order to elucidate the mechanism of thermal conductivity reduction by local anharmonic phonons (rattling effect). We report some experimental evidences about rattling motion in skutterudite compounds and discuss the mechanism.

Keywords : Thermoelectric material, High pressure synthesis, Rattling, Anharmonic phonon

1 はじめに

熱電変換材料は、熱エネルギーを電気エネルギーに直接変換できる材料であり、廃熱等を利用した温度差発電に利用できる。しかし、この発電技術を普及させるためには、材料の変換効率を大きく向上させることが課題となっている。熱電変換材料の性能は、以下の性能指数 Z [1/K] という指標で表される。

$$Z = S^2 / \rho \kappa \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで、 S [V/K] はゼーベック係数、 ρ [Ω m] は電気抵抗率、 κ [W/mK] は熱伝導率である。さらに、熱伝導率 κ は電子系による寄与 κ_E と格子系による寄

与 κ_L の和で表される。熱電変換材料の性能指数 Z は温度の逆数の次元を持っているので、通常、絶対温度 T [K] をかけた無次元性能指数 ZT が用いられ、 $ZT > 1$ が実用化の目安とされている。(1) 式より、高い性能指数 Z を実現するためには、 S が大きく、 ρ , κ が小さい材料を開発できれば良いのだが、 S , ρ , κ_E はいずれもキャリア濃度の関数であり、 S と ρ , κ_E は互いにトレードオフの関係にあるため、その実現は容易ではない。一方、格子熱伝導率 κ_L はキャリア濃度に関係なく結晶構造等で決まるため、独立に制御することが可能である。最近、この点に着目した材料開発が行われている。

充填スキテルダイト、クラスレート、パイロクロアなど結晶構造中に高対称のカゴ状構造を有する希土類化合物では、カゴ内部に弱く結合したゲストイオン（希土類イオン）が巨大振幅の局所的な独立振動（局在非調和フォノンあるいはラットリングと呼ばれる）することにより、調和フォノンによる熱の伝播を妨げ、格子熱伝導率 κ_L を著

*1 室蘭工業大学 もの創造系領域

*2 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター

*3 室蘭工業大学 しくみ情報系領域

しく低減させると考えられている．このラットリング効果を顕著に示す材料系を利用した高性能熱電変換材料の開発が注目されている．格子熱伝導率の低減は，キャリア濃度の最適化とは独立に熱電特性の向上が可能な方法であり，飛躍的な性能向上につながる可能性が高い．

2 スクッテルダイト化合物

スクッテルダイト化合物は，ラットリング効果により優れた熱電特性を示す材料系として期待されている．スクッテルダイト化合物には，二元系の非充填スクッテルダイト化合物と三元系の充填スクッテルダイト化合物の2種類が存在する．図1に結晶構造を示す．どちらの化合物も体心立方晶系で，空間群 $Im\bar{3}$ (T_h^h) である．非充填スクッテルダイト化合物(図1a)は一般形が MX_3 ($M=\text{Co, Rh, Ir, Ni}$; $X=\text{P, As, Sb}$) または $\square M_4X_{12}$ ($\square=\text{空隙}$) で表され，3元系の充填スクッテルダイト化合物(図1b)は，一般系を RT_4X_{12} ($R=\text{アルカリ土類元素, 希土類元素, アクチノイド元素など, } T=\text{Fe, Ru, Os, Pt}; X=\text{P, As, Sb, Ge}$) で表される．充填スクッテルダイト化合物は T, X 原子で構成される副格子のカゴの中で弱く結合した R 原子が巨大振幅の局所的な独立振動(ラットリング)することにより，格子熱伝導率が著しく抑制されと考えられている．ラットリングの実験的証拠として，結晶構造パラメータの一つである熱振動パラメータがある．結晶を構成する他のイオンに比べて，カゴ構造の内部にあるゲストイオンの熱振動パラメータが非常に大きな値を示す場合があり，これがラットリングの存在を示唆している．また，アインシュタイン比熱の存在も，ラットリングの実験的証拠と考えられている．充填スクッテルダイト化合物 $\text{CeRu}_4\text{Sb}_{12}$ に関する中性子非弾性散乱実験によると，ゲストイオンの非調和性は確認されず，カゴとの相互作用があることが指摘されているが⁽¹⁾，ゲストイオンの振動に関連する低励起の光学フォノンが観測されており，これが低い熱伝導率に寄与していることは間違いないと思われる．そこで，本論文では，ゲストイオンが大きく調和振動することも含めて，ラットリングと呼ぶこととする．

本研究では，顕著なラットリング効果が期待される新しい物質を探索・創製し，実験的に局在非調和フォノンの存在を確認し，格子熱伝導率との関連を詳細に調べ，第一原理計算と実験結果との

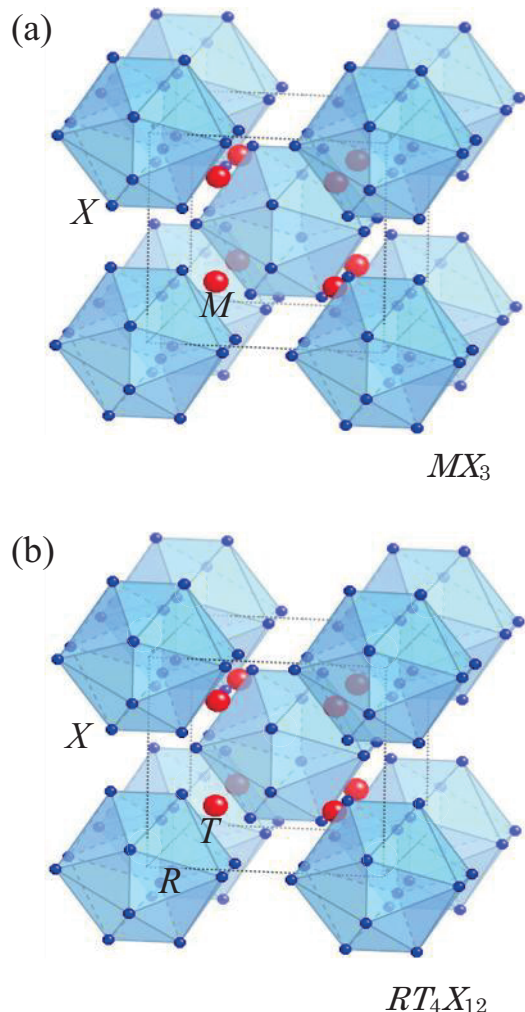


図1 非充填スクッテルダイト化合物 MX_3 (a) と充填スクッテルダイト化合物 RT_4X_{12} (b) の結晶構造

比較により，格子熱伝導率の低減機構を解明することを目的とした．

3 研究手法

3.1 試料合成

新規充填スクッテルダイト化合物の多結晶試料の合成には，高温高压合成法を用い，立方体の圧力媒体を6方向から均等に加圧できるDIA型キュービックアンビル装置(UHP500)および正八面体の圧力媒体を8方向から均等に加圧できる川井型2段式マルチアンビル装置(UHP1500)の2台の大型プレスを用いた．合成条件は2~5GPa，温度550~1100℃である．

3.2 結晶構造解析

試料の同定には湾曲 IP X 線回折装置を使用し、Co K α 線を用いた粉末 X 線回折法により行った。精密構造解析には、SPRING-8 のビームライン BL10XU において放射光 X 線を利用して行った粉末 X 線回折実験データを用い、リートベルト法により構造決定を行った。高压下における粉末 X 線回折実験は、高エネルギー加速器研究機構(KEK)放射光科学研究センター(PF)のビームライン BL18C において放射光 X 線を利用して行った。高压発生装置としてダイヤモンドアンビルセルを用いた。

3.3 物性評価

得られた試料の電気抵抗、比熱、ゼーベック係数、熱伝導率の測定には物理特性測定装置 PPMS (Quantum Design 社製)を使用し、電気抵抗測定は直流 4 端子法、比熱は緩和法、ゼーベック係数、熱伝導率の測定は定常法により行った。

3.4 分子動力学(MD)シミュレーション

充填スクッテルダイト化合物における結晶中の各原子の熱振動を調べることを目的に、古典的分子動力学(MD)シミュレーションを行い、パワー・スペクトルの解析を行った。シミュレーションの結果は、本特集の澤口らの記事を参照して頂きたい (9 ページ)。

4 研究成果

4.1 カゴ状構造を持つ新物質探索

これまで常圧下のフラックス法では合成できなかった As 系充填スクッテルダイト化合物を高温高压合成法により合成できることを見出し、アルカリ土類金属元素の Ba や重希土類元素を含む新規充填スクッテルダイト化合物 BaFe₄As₁₂, BaRu₄As₁₂, BaOs₄As₁₂, GdFe₄As₁₂, TbFe₄As₁₂⁽²⁾ などの合成に成功した。また、新カゴ状物質である CeFe₂Al₁₀ の高压合成に成功した。詳細は本特集の川村らの記事を参照して頂きたい (13 ページ)。また、Ce や La を主成分とする混合希土 (ミッシュメタル, Mm と表記される) を含む新規充填スクッテルダイト化合物 Mm_xCo₄Sb₁₂, MmFe₄Sb₁₂, MmFe₃CoSb₁₂ などを合成することに成功し、実用化されている CeFe₃CoSb₁₂ と同程度の性能を有することが確認できた。

4.2 ラットリングを実験的に確認

新物質 GdFe₄As₁₂ を含む多くの充填スクッテルダイト化合物の放射光 X 線を利用した粉末 X 線回折実験を行い、リートベルト解析により、結晶構造パラメータ (X 原子の座標, 原子間距離, 結合角), 熱振動パラメータを求めた⁽³⁾。測定を行った化合物の中で、GdFe₄As₁₂ の Gd 原子 (As 原子の作るカゴ構造の中に位置し、ゲスト原子と呼ばれる) の熱振動パラメータが最も大きな値を示し、顕著なラットリング効果が期待できる。GdFe₄As₁₂ は常圧での合成報告がなく、高压下でのみ合成可能な物質であり、準安定状態の高压相がクエンチされている可能性がある。高压合成により、Gd よりさらに重い重希土類元素を含む充填スクッテルダイト化合物が合成できれば、さらに顕著なラットリング効果が期待できる。

得られた新物質に関して、結晶構造の圧力依存性についても系統的に研究した。高压下における粉末 X 線回折実験を行い、10GPa までの圧力範囲では、結晶構造は安定しており、構造相転移などの異常は観測されなかった。格子定数からセル体積を計算し、その圧力変化から体積弾性率を Birch-Murnaghan の状態方程式をフィットさせて算出した。体積弾性率は物質の硬さを表す物理量であるが、同様に硬さの指標の一つであるデバイ温度との比較を行った。その結果、充填されるイオンの価数により異なる傾向が見られ、ラットリング効果との関連が示唆される。このように、新規の As 系化合物の合成により、P 系と Sb 系の隙間を埋めることができ系統的な研究が可能になった。

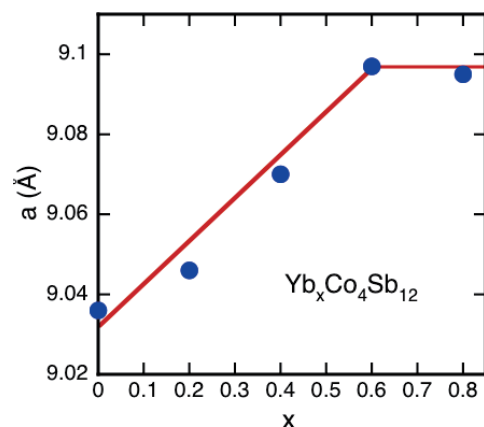


図2 Ybの仕込み値 x に対する $\text{Yb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ の格子定数 a の変化

4.3 Yb 充填による格子熱伝導率の低減

非充填スキテルダイト化合物 CoSb_3 に希土類元素の Yb を部分的に充填させた $\text{Yb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ は高い性能指数を示す n 型の熱電材料として知られているが, 常圧での合成では, Yb の充填率は 20% 以下に留まる⁽⁴⁾. 本研究では高温高压合成法により, 高い充填率の $\text{Yb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ の合成を試み, Yb の充填量に対する格子熱伝導率など熱電特性の変化を調べた. 図 2 に, Yb の仕込み値 x に対する 2GPa で合成した $\text{Yb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ の格子定数 a の変化を示す. x の増加とともに格子定数 a は増大するが, $x=0.6$ 以上では増大は見られなくなる. このことから, 2GPa での合成では, CoSb_3 への Yb の充填率は 60% が限界と考えられるが, 高压合成法を用いることで, 高い充填率の $\text{Yb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ の合成が可能であることが実証できた. さらに, Yb の充填率の増加にともない $\text{Yb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ の格子熱伝導率(κ_L)は大きく減少した (図 3). これは, Yb 原子が顕著なラットリング効果を示すことを強く示唆する結果である.

4.4 非充填スキテルダイト化合物の自己充填反応

多くのカゴ状化合物は, カゴ内部に充填されたゲスト原子によって結晶構造が保たれており, ゲスト原子が抜けた構造は安定して存在しない. しかし, スキテルダイト化合物には, カゴ内部にゲスト原子が存在しない, 非充填スキテルダイト化合物 MX_3 ($\square\text{M}_4\text{X}_{12}$) (\square =空隙, $\text{M}=\text{Co}, \text{Rh}, \text{Ir}$, $\text{X}=\text{P}, \text{As}, \text{Sb}$) が安定して存在する. ラットリング研究には, その舞台となるカゴ状構造そのものの安定性を調べることも重要である. 非充填スキテルダイト化合物は, 12 個の X 原子が 20 面体のカゴを形成し, その中心は空隙となっている (図 1(a)). このカゴ内部の空隙は, $\text{Yb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ などに代表されるように, 一つの希土類イオンが充填できるほど大きく, 結晶構造内に大きな空隙を有する結晶構造となっている. また, カゴを形成する原子間 (X-X 原子間) の強い共有結合のため, これまでは, 原子密度の低い結晶構造であるにもかかわらず, 非常に高い圧力まで安定な結晶構造が保たれることが報告されていた. ところが, 最近の高压下粉末 X 線回折実験から, 非充填スキテルダイト化合物 CoSb_3 の圧力誘起構造変化が報告された⁽⁵⁾. この論文では, 不可逆的な圧力-体積曲線と加圧後にセル体積が増大する異常が報告されており, カゴ

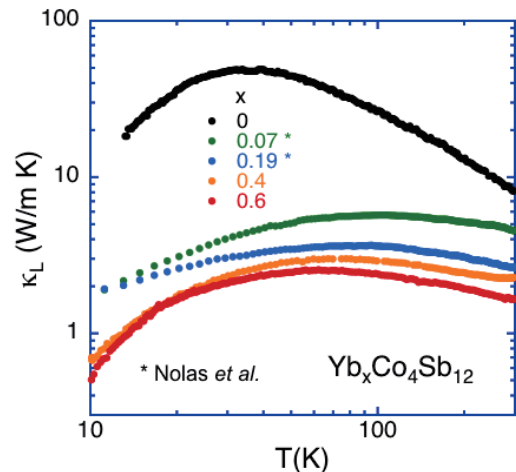


図3 $\text{Yb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ の格子熱伝導率 κ_L の温度変化

を形成している一部の Sb 原子がカゴ内部の空隙に押し込められた, “自己充填反応” モデル ($\square\text{Co}_4\text{Sb}_{12} \rightarrow \text{Sb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12-x}$) で説明できることを提唱している. 実際に提唱されているモデルの現象が起こっていると仮定すると, カゴ内部に充填された Sb が, $\text{Yb}_x\text{Co}_4\text{Sb}_{12}$ などの充填スキテルダイト化合物で見られているような, ラットリング効果を起こす可能性があり, 格子熱伝導率 κ_L を低減させることが期待でき, 性能指数 Z を向上させると考えられる. しかし, 約 40GPa の高い圧力下で起こる現象であるため, 実験の困難さから, ほとんど詳細な研究はされていなかった. 我々は, 放射光 X 線を用いた高精度の実験を行い, 自己充填反応の妥当性を確認した⁽⁶⁾. また, CoSb_3 と同じ結晶構造を持つ RhSb_3 , IrSb_3 , TA_3 ($T=\text{Co}, \text{Rh}, \text{Ir}$) でも同様の現象が起こることを初めて示し, 非充填スキテルダイト化合物の高压下における結晶構造の不安定性について, 系統的に評価することが可能となった. 自己充填反応は室温以上の温度ではより低い圧力で起こることも確認された.

5 まとめ

カゴ状構造を有する希土類化合物の熱電変換材料への応用を目指した基礎研究を行った. 典型物質の合成により, ラットリングに起因すると考えられる現象を実験的に確認し, 格子熱伝導率の低減に関する新たな知見を得た. また, 非充填スキテルダイト化合物の自己充填反応は, 高温圧力処理により熱電特性を向上させる可能性を示した.

これは次世代熱電変換材料開発に新たな指針を与えるものであると考えられる.

参考文献

- (1) C. H. Lee, I. Hase, H. Sugawara, H. Yoshizawa, and H. Sato, Low-Lying Optical Phonon Modes in the Filled Skutterudite $\text{CeRu}_4\text{Sb}_{12}$, J. Phys. Soc. Jpn. **75** (2006) 123602 (5 pages).
- (2) C. Sekine, K. Ito, K. Matsui, and T. Yagi, Magnetic Properties of New Filled Skutterudite Compounds $\text{GdFe}_4\text{As}_{12}$ and $\text{TbFe}_4\text{As}_{12}$, J. Phys.: Conf. Ser. **273** (2011) 012120 (4 pages).
- (3) K. Takeda, K. Ito, J. Hayashi, C. Sekine, and T. Yagi, Structural and Electrical Properties of New Filled Skutterudite Compound $\text{BaFe}_4\text{As}_{12}$ Prepared at High Pressure, J. Phys. Soc. Jpn. **80** (2011) SA029 (3 pages).
- (4) G. S. Nolas, M. Kaeser, R. T. Littleton IV, and T. M. Tritt, High Figure of Merit in Partially Filled Ytterbium Skutterudite Materials, Appl. Phys. Lett. **77** (2000) p1855-1857.
- (5) A. C. Kraemer, M. R. Gallas, J. A. H. da Jornada, and C. A. Perottoni, Pressure-Induced Self-Insertion Reaction in CoSb_3 , Phys. Rev. B **75** (2007) 024105 (5 pages).
- (6) K. Matsui, K. Yamamoto, T. Kawaai, Y. Kawamura, J. Hayashi, K. Takeda, and C. Sekine, Structural Instability of Unfilled Skutterudite Compounds MX_3 ($\text{M} = \text{Co}, \text{Rh}$, and Ir ; $\text{X} = \text{As}$ and Sb) under High Pressure, J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) 104604 (7 pages).

CeFe₄Sb₁₂, RCo₄As₁₂ の原子振動シミュレーション澤口 直哉^{*1,*2}, 福士 明宏^{*3}, 伊端 優祐^{*3}, 関根 ちひろ^{*1,*2}, 佐々木 眞^{*1,*2}Simulated Vibration of Atoms in CeFe₄Sb₁₂ and RCo₄As₁₂Naoya SAWAGUCHI ^{*1,*2}, Akihiro FUKUSHI ^{*1,*2}, Yusuke IBATA ^{*1,*2}Chihiro SEKINE ^{*1,*2}, and Makoto SASAKI ^{*1,*2}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

Molecular dynamics simulations for the skutterudite compounds: CeFe₄Sb₁₂ and RCo₄As₁₂ are performed, and the rattling oscillation of *R* atom was reproduced, and the wavenumber of the oscillation was evaluated.

Keywords : skutterudite, molecular dynamics, rattling, velocity autocorrelation, power spectrum

1 はじめに

スカッテルダイト CoAs₃ はカゴ状物質であり, CoAs₃ のカゴ部分に希土類元素 *R* を充填した構造をもつ充填スカッテルダイト化合物 RT₄X₁₂(図 1)は, 希土類元素 *R*, 遷移金属元素 *T*, プニクトゲン元素 *X* の選択自由度が高く, *R*, *T*, *X* の組み合わせにより物性が多様に変化するために興味をもたれ, 合成ならびに物性評価が精力的に進められている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾. *R* と隣接する *X* との間の相互作用が弱い⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾ため, *R* 原子は結晶格子の熱振動とはモードの異なるラットリング振動と呼ばれる独特の運動をしていると考えられている. ラットリング振動は結晶格子による熱の伝播を妨げ, 充填スカッテルダイト化合物の熱伝導度を低下させると考えられている. これを応用して比較的高い電気伝導性を維持しつつ熱伝導を抑制できると, 熱電性能が向上するため, 充填スカッテルダイト化合物を応用した実用的な熱電デバイス材料の開発が期待されている. しかし *R* 原子がラットリング振動を生じる条

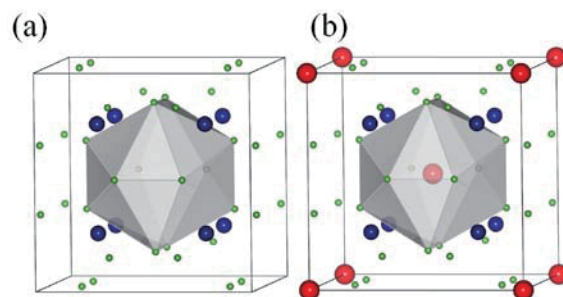


図 1 スカッテルダイト(a)と充填スカッテルダイト(b)の結晶構造 小球: プニクトゲン原子 *X*, 中球: 遷移金属原子 *T* (a,b に共通), 大球: 充填原子 *R* (b)

件やラットリング振動の特性と熱伝導の詳細な関係は, 未だ十分に解明されていない. *R* 元素を系統的に変えた化合物の合成が試みられているが, 一部の充填スカッテルダイト化合物は高压合成が必要である⁽¹⁾⁽³⁾など, 試料を揃えるのは容易ではない. また膨大な *R*, *T*, *X* の組み合わせから熱電特性が最も優れた物質を探し出すためにも工夫が要る.

「希土類研究プロジェクト」では異なるグループ間の研究協力の推進を掲げていたが, 本研究はタスク「カゴ状希土類化合物における局在非調和フォノンによる熱伝導率低減機構の解明」の下で行われた, 合成と構造・物性解析を専門とするグループと分子シミュレーションを専門とするグル

*1 室蘭工業大学 もの創造系領域

*2 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター

*3 室蘭工業大学 機械創造工学系専攻

ープの共同研究であり, 分子動力学(MD)法の充填スクッテルダイト化合物への適用を試みている. シミュレーションは合成が難しい化合物も扱えるため, 充填スクッテルダイト化合物の系統的な理解に寄与することが目標である. 本稿では試みたシミュレーションの概要を紹介する.

2 シミュレーション手法

MD 法は 50 年以上に亘って発達してきた分子シミュレーションの 1 手法であり, 物質中の原子の運動をシミュレートする方法である. 最近では第一原理量子計算を組み合わせた第一原理 MD 法の利用が増えている. これに対し, 従来の MD 法は古典的 MD 法と呼ばれている. 古典的 MD 法は原子(イオン)間相互作用ポテンシャルを定め, それに基づいて原子の動きをシミュレートするが, 人為的に与える原子間相互作用ポテンシャルに議論の余地が残ること, 物質の電子状態の情報が得られないことが欠点である. 一方, 第一原理 MD 法は計算コストが高いために現実的な計算時間の範囲では百数十原子程度を対象としたシミュレーションしか実施できないのに比して, 古典的 MD 法は数千~数万個の独立した原子の運動を扱え, シミュレートする時間も第一原理 MD 法より長くできる利点をもつ. 例えば, 充填スクッテルダイト化合物の R サイトに欠陥がある場合を検討したければ, 計算対象のモデルは結晶単位格子のスーパーセルを組み, 原子数を多くする必要がある. 本研究では古典的 MD 法で数千原子からなるモデルを扱った.

MD 法を金属酸化物に適用する場合, 酸化物イオン O^{2-} は陰イオンであり, 一方の金属は陽イオンとして扱う. この場合の原子(イオン)間相互作用力は静電力が支配的であり, 式(1)に示す Born-Mayer-Huggins (BMH)型ポテンシャル関数を用いている.

$$U_{ij}^{BMH}(r_{ij}) = \frac{z_i z_j e^2}{r_{ij}} + f_0 b_{ij} \exp\left(\frac{a_{ij} - r_{ij}}{b_{ij}}\right) - \frac{c_{ij}}{r^6} \quad (1)$$

ここで U_{ij} は距離 r_{ij} にある原子 i と j の間に作用する力がもたらすポテンシャルエネルギーであり, 右辺第 1 項から順に静電力項, 近接反発力項, ファン・デル・ワールス力項からなる. a_{ij} , b_{ij} , c_{ij} は変数であり, 元素対 ij 毎に適切な値を決める必要が

ある. 原子 i が感じるポテンシャルは式(1)の j についての総和で求める. 原子間相互作用に引力項を追加したい場合は, 式(2)の Morse 型ポテンシャル関数を加えることがある.

$$U_{ij}^{Morse}(r_{ij}) = D_{ij} [\exp(-2\beta_{ij}(r_{ij} - r_{ij}^*)) - 2\exp(-\beta_{ij}(r_{ij} - r_{ij}^*))] \quad (2)$$

ここで D_{ij} , β_{ij} , r_{ij}^* は元素対毎に決める変数である. BMH 型と Morse 型のポテンシャルはどちらも多体間相互作用を含まない 2 体間相互作用ポテンシャルであり, 分子シミュレーションではこれが基本形である.

スクッテルダイト化合物は電気伝導性を有し, イオン性物質ではない. しかし, 充填原子 R を 2 価あるいはその他の価数の陽イオンとして扱っている報告が多い. もし R を陽イオンとするなら隣接する X を陰イオンとするのが妥当と考えられるが, そのままでは結晶中の $X-X$ 結合は静電反発によって形成されないと予想される. そこで, まずは R, T, X の価数はすべてゼロと仮定し, BMH 型を外し, Morse 型ポテンシャル関数のみを用いることにした. なお, 同様の設定による研究として Huang ら⁽⁵⁾の報告がある.

3 $CeFe_4Sb_{12}$, RCo_4As_{12} の原子振動解析

熱電性能指数が高いことが知られている $CeFe_4Sb_{12}$ のシミュレーションの結果を示す(図 2). まず 300 K, 0.1 MPa の設定で $CeFe_4Sb_{12}$ のシミュレーションを実施し, 格子定数や結晶格子の形状が解析データ⁽⁶⁾と一致するように, 式(2)の各変数の調整を繰り返し, 変数の組の最適化を図った. 結果として格子定数をほぼ再現する原子間相互作用ポテンシャル関数を定めることができた.

$CeFe_4Sb_{12}$ の格子振動は, 原子の速度自己相関関数へ Wiener-Khintchine の定理を適用してパワースペクトルを計算して考察した. 式(3)に原子 i の速度自己相関関数 V_s を, 式(4)にパワースペクトル $S(\omega)$ の計算式を示す.

$$V_s(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\mathbf{v}_i(\tau) \cdot \mathbf{v}_i(0)] \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} V_s(\tau) \exp(-i\omega\tau) d\tau \quad \dots (4)$$

ここで、 $\mathbf{v}_i(\tau) \cdot \mathbf{v}_i(0)$ は原子 i の時刻 τ と時刻 0 における速度ベクトルの内積であり、 N は計算対象とする原子数である．本研究では元素毎に V_s を求めており、 N は MD セル中の各元素の個数になる．式(4)のパワースペクトルの定義は、ラマン分光スペクトルや赤外分光スペクトルの分子分光学の理論とは一致しない．しかし、パワースペクトルは結晶中の個々の原子の運動に由来するため、結晶格子振動と相関を示すと考えて良く、分光スペクトルとの比較は意味がある．図 2(a) は CeFe₄Sb₁₂ について 300 K の設定で MD シミュレーションを実施し、元素毎に計算した速度自己相関関数、(b) はそのパワースペクトルである．(a) に見られる Ce の速度自己相関関数は長周期で振動しながら緩やかに減衰

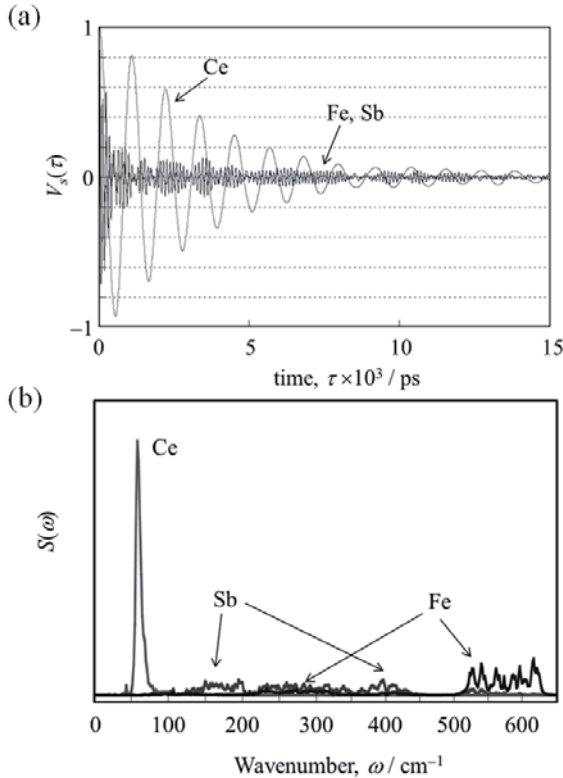


図 2 設定温度 300 K の MD シミュレーションから得られた CeFe₄Sb₁₂ の速度自己相関関数(a)とパワースペクトル(b)

しており、明らかに Fe や Sb とは異なっている．これから計算した(b)の Ce のパワースペクトルは 60 cm⁻¹ に高い強度のピークが 1 つあるだけで、Fe や Sb のパワースペクトルとは形状、波数共に異質である．Fe と Sb のパワースペクトルは 100 cm⁻¹ 以上の波数域にほぼ重なって表れ、これらは Fe-Sb, Sb-Sb 結合を介する格子振動に対応していると考えられる．60 cm⁻¹ に Fe と Sb のスペクトルが見ら

れないことも考え併せると、Ce の運動が格子振動から孤立したラットリング振動であることが示唆される．Feldman ら⁽⁷⁾は Ce_{0.9}Fe₄Sb₁₂ の中性子非弾性散乱測定で 56 cm⁻¹ のピークをラットリングに対応したものと解釈しており、本研究の結果と整合する．

CoAs₃ は FeSb₃ よりも格子定数が小さく、充填型 RCo₄As₁₂ は合成報告がない．しかし、低い充填率の R_xCo₄As₁₂ ($x < 1$) は合成できる可能性を否定できず、この場合も充填原子が狭いカゴ状構造の中でもラットリング振動をするのかどうかに興味をもたれる．そこで充填率を変えたモデル結晶を用意し、CoAs₃ と Ce_xCo₄As₁₂ の MD シミュレーションを試みた．

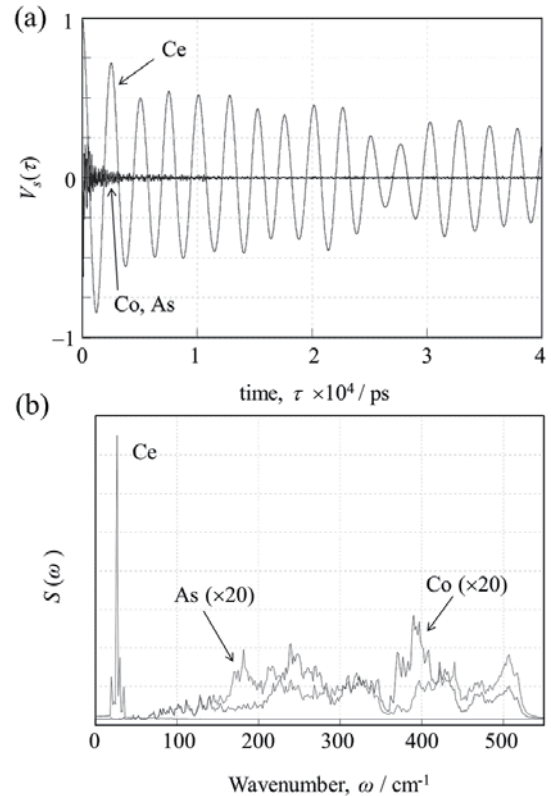


図 3 設定温度 300 K の MD シミュレーションから得られた CeCo₄As₁₂ の速度自己相関関数(a)とパワースペクトル(b)

図 3(a) は CeCo₄As₁₂ の元素毎の速度自己相関関数、(b) は CeCo₄As₁₂ のパワースペクトルである．シミュレーションは 300 K 設定で行った．Co と As のスペクトルは、どちらも 50 cm⁻¹ から 520 cm⁻¹ の範囲に分布し、この分布は別途行った CoAs₃ のシミュレーション結果と同様であった．このスペクトルは Co-As, As-As 結合に関連した格子振動に対応していると考えられる．一方、Ce のパワース

ペクトルは、 30 cm^{-1} に強度の強いピークを示し、この波数に Co と As のスペクトルは見られない。これらは $\text{CeCo}_4\text{As}_{12}$ が合成できた場合、Ce がラットリング振動を示す可能性を示唆している。充填率 x が 0.1 や 0.3 の場合についても MD シミュレーションを実施しパワースペクトルを求めたが、Ce のパワースペクトルには完全充填の結晶との違いは見られなかった。よって、 CoAs_3 に Ce を少しでも充填できれば、ラットリング振動による熱伝導度の低減が生じる可能性が考えられるが、より詳細な解析法の開発と検討が必要である。

4 おわりに

充填スクッテルダイトのラットリング振動に相当すると考えられる特有の原子挙動が MD シミュレーションにおいても解析可能であることが示唆された。また、MD シミュレーションの結果において、ラットリング様の振動がカゴ状サイトの中心に重心をもつ on-center であることも明らかにできている。しかし、いくつか重要な課題も残っている。まず、原子間相互作用ポテンシャルの適正化が重要である。各元素のイオン性の調査・検討が必要であり、現在量子化学計算から各元素の電荷の情報を得ることを試みている。また、スクッテルダイト化合物中の $X-X$ 結合距離は 2 通りあるにも関わらず、本研究では 2 体間相互作用モデルを適用しているため、 $X-X$ 結合距離は 1 通りになっている。このような結晶構造の歪みが原子振動の評価に及ぼす影響の検討も必要である。

本研究の議論や考察、残されている問題点の洗い出しには、「希土類研究プロジェクト」の事業として開催された「プロジェクト講演会」⁽⁸⁾⁽⁹⁾における招聘講師による講演、並びに 2 研究グループの合同ゼミナールにおける議論が大いに参考になっ

た。今後も試料合成や物性評価の情報を受けながら、シミュレーションからも有意義な知見を提供できるよう研究を進めていく予定である。

参考文献

- (1) 関根ちひろ, 城谷一民, スクッテルダイト化合物の高圧合成と物性, 高圧力の科学と技術, **13** (2003) p176-182.
- (2) 木方邦宏, 関根ちひろ, 城谷一民, 李 哲虎, 伊藤英司, 重希土類を含む充填スクッテルダイト化合物の高圧合成と物性, 室蘭工業大学紀要 **54** (2004) p109-117.
- (3) 関根ちひろ, スクッテルダイト化合物の高圧下における結晶成長, 高圧力の科学と技術, **16** (2006) p336-341.
- (4) C. Sekine, H. Ando, Y. Sugiuchi, I. Shirotni, K. Matsuhira, and M. Wakeshima, Magnetic Properties of Filled Skutterudite Phosphides with Heavy Lanthanides Synthesized under High Pressure, J. Phys. Soc. Jpn., **77** Suppl. A (2008) p135-141.
- (5) B. Huang, and M. Kaviani, Filler-reduced phonon conductivity of thermoelectric skutterudites: Ab initio calculations and molecular dynamics simulations, Acta Materialia, **58** (2010) p4516-4526.
- (6) D. Bérardan, C. Godart, E. Alleno, E. Leroy, and P. Rogl, Existence, structure and valence properties of the skutterudites $\text{Ce}_y\text{Fe}_{4-x}\text{Co}_x\text{Sb}_{12}$, J. All. Comp., **350** (2003) p30-35.
- (7) J. L. Feldman, P. Dai, T. Enck, B. C. Sales, D. Mandrus, and D.J. Singh, Lattice vibrations in $\text{La}(\text{Ce})\text{Fe}_4\text{Sb}_{12}$ and CoSb_3 : Inelastic neutron scattering and theory, Phys. Rev. B, **73** (2006) 014306.
- (8) 関根ちひろ, 「希土類に関連した再生可能エネルギー材料科学およびサステイナブル材料開発」プロジェクト講演会ーカゴ状希土類化合物におけるラットリング研究最前線ーの報告, 室蘭工業大学 希土類研究プロジェクト Annual Report **1** (2010) p54-55.
- (9) 関根ちひろ, 「希土類に関連した再生可能エネルギー材料科学およびサステイナブル材料開発」プロジェクト講演会ーカゴ状希土類化合物におけるラットリング研究最前線ーの報告, 室蘭工業大学 希土類研究プロジェクト Annual Report **2** (2011) p33-34.

カゴ状物質における熱電変換材料の探索

川村 幸裕^{*1}, 関根 ちひろ^{*2, *1}A Search of Thermoelectric Conversion Material
in Cage-Like CompoundsYukihiro KAWAMURA^{*1}, and Chihiro SEKINE^{*2, *1}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

Thermoelectric generation is one of sources of renewable energy for next generation. Ce1210-system is a candidate of new thermoelectric conversion material. In order to searching new thermoelectric conversion material, we synthesized $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ by high temperature and high-pressure technique. We confirmed that main phase of resulting compounds is $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$. In order to investigate the thermoelectric performance of this compound, we measured electrical resistivity, thermal conductivity and Seebeck coefficient. We estimated the dimension-less figure of merit ZT of 6×10^{-3} in maximum, which is less than 1/100 of indication of practical realization. On the other hand, we estimated the power factor of 2×10^{-4} in maximum at 170 K, which is larger than one-fifth of indication of practical realization.

Keywords : $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$, figure of merit, power factor

1 はじめに

東北地方太平洋沖地震に伴う福島第一原発の事故以来、原子力発電廃止の世論が高まっている。2 年以上すぎた現在でさえ、依然としてタンクの汚染水漏れ問題などがあり事態は収束できておらず、原子力発電に対しての風当たりは今後も強くなることが懸念される。そこで、これまでの原子力発電で賄われてきた電力を確保するためのエネルギー源が必要とされている。当面は火力発電で賄うことも可能であるが、化石燃料の枯渇問題や CO_2 等の環境問題もあることから、環境に優しい再生可能なエネルギー源の開発が急務となっている。次世代の再生可能エネルギー源として我々が注目しているのは熱電発電である。半導体や金属材料に温度差をつけると起電力が発生する。これをゼー

ーベック効果といい、このゼーベック効果を利用して温度差から直接電気を生み出す発電方法が熱電発電である。熱電発電は原子力発電のような放射能もれのリスクや火力発電のような CO_2 の排出が問題になることがない、クリーンな発電方法であるが、変換効率が良くないため未だ実用化されていない。熱電発電は火力発電や地熱発電のように 100°C 以上の温度が必要ではなく、比較的小さい温度差から利用できる。このことから様々な経済活動で生じる排熱を利用でき、将来性のある発電方法である。次世代の発電機としての実用化のためには熱電変換効率のよい新熱電材料が必要になる。熱電材料の性能を示すものの一つに熱電性能指数 Z およびそれに絶対温度 T [K] をかけた無次元性能指数と呼ばれる ZT がある。 ZT はゼーベック係数 S [V/K], 電気抵抗率 ρ [Ωm], 熱伝導度 κ [W/mK] を用いて

^{*1} 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター^{*2} 室蘭工業大学 もの創造系領域

$$ZT = \frac{S^2}{\rho\kappa} T \cdots \cdots \cdots (1)$$

で表され $ZT > 1$ が実用化の目安である。また、実際に応用を考えた場合、高温熱浴と低温熱浴の温度差で発電を行うが、熱浴の熱容量が十分に大きく、熱浴が常に一定の温度に保たれるという条件下では、熱伝導度が高くても問題にならない。例えば登別市に流れる温泉水と付近の冷たい川の間で温度差発電した場合、新たに暖かい水および冷たい水が絶え間なく注ぎこむ。熱電発電素子に比べて川の熱容量は莫大であるため、素子の熱伝導度が高くても高温熱浴と低温熱浴の差はほとんど変わらない。そこで発電効率を考えた場合熱伝導度を除いて考えたパワーファクター PF という指標も重要になる。

$$PF = \frac{S^2}{\rho} [\text{W/mK}^2] \cdots \cdots \cdots (2)$$

ZT の式(1)をみて明らかなようにすぐれた熱電材料は高いゼーベック係数、低い電気抵抗率、熱伝導度によって実現される。通常は電気抵抗率が低ければゼーベック係数が低く、熱伝導度が高くなり、高い熱電効率は望めない。しかし、いくつかの例外的な物質がある。例えばカゴ状物質や、近藤半導体などである。カゴ状物質は文字どおり結晶構造にカゴ状な部分が存在する物質で、カゴの中に原子が入り、その原子が周りの原子との結合が弱いことにより非調和な振動（ラットリング現象）を起こすがある。このラットリングによるフォノンの散乱により熱伝導度の低減がもたらされ、低い電気抵抗率を維持したまま低い熱伝導度を有することができる。その結果、高い熱電性能が期待できる。また、近藤半導体とは伝導電子と $4f$ 電子による混成（ $c-f$ 混成）によって半導体ギャップが形成されてできる半導体であり、 $c-f$ 混成が強まる温度領域で高いゼーベック係数をもつことにより ZT の向上が期待できる。

従来の熱電変換材料は材料設計の観点からゼーベック係数を大きくするために、重い元素を用いた材料開発が行われてきたが、重い元素による材料探索は限界に近い状況にあり、次世代熱電変換材料として新たな設計指針が提唱された。それが Phonon-Glass, Electron-Crystal (PGEC) である。PGEC とはガラス質のようにフォノンを通さず、結晶質のように電気を通す材料を意味する。前述のカゴ

状物質はこのPGECに該当する。

最近発見された1210系と呼ばれる $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$ (T =遷移金属)も希土類のCeを内包するカゴ状物質である。さらに、近藤半導体に分類される物質である。1210系は次世代熱電変換材料の設計指針であるPGECに基づきながらも近藤半導体の性質により高いゼーベック係数を実現できる可能性がある。

これまで1210系の物質は常圧でのみ育成されており、高温・高圧合成による育成は全く行われてこなかった。高温・高圧合成法では常圧では合成できない物質も合成可能である。さらに常圧で合成できる物質であっても、常圧で合成した場合と高圧で合成した場合とで異なる物性を示すことがある。1210系の試料を高温・高圧合成法で育成することで、これまでにない高い熱電性能を示す物質が見つかる可能性がある。

本研究の目的は1210系を高圧合成により育成を試みることで高い ZT や PF をもつ熱電材料を探索することである。1210系はこれまで全く高温高圧合成の合成例がないことから、合成可能な温度・圧力条件を探る必要がある。そこで今回、我々は既に常圧で合成の報告がある $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ を高温・高圧合成により育成を試み、その熱電特性を調べた。

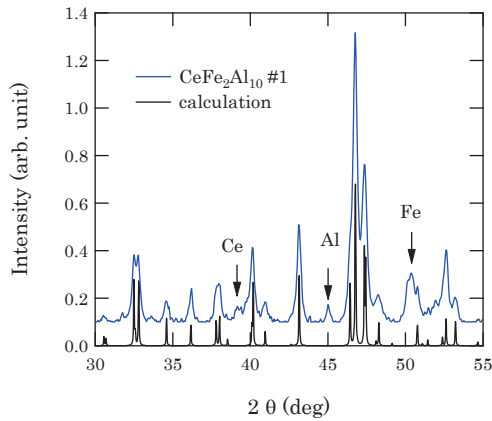
2 実験方法

高温・高圧合成は2段式の加圧システムを用いて8方向から均等に圧力をかけられる構造になっている川井式2段アンビル型圧力装置 (UHP-1500) を用いて合成した。合成条件は600°Cの温度下、4 GPaの圧力下で2時間保持して行った。試料評価はX線回折法を用いた。また、熱電性能を調べるために、ゼーベック係数、熱伝導度、電気抵抗率測定を Physical Properties Measurement System (PPMS, Quantum Design Ltd.)を用いて行った。

3 試料評価・熱電性能評価

3.1 試料評価

図1に高温・高圧合成法により育成した試料のX線回折パターンを示す。我々が合成した試料のX線パターンと $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ の計算値を示した。顕著なX線ピークは計算値と一致しており、 $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ を主相とする物質が合成できたことがわかる。一方で、不純物として原料であるCe, Al, Feのピーク

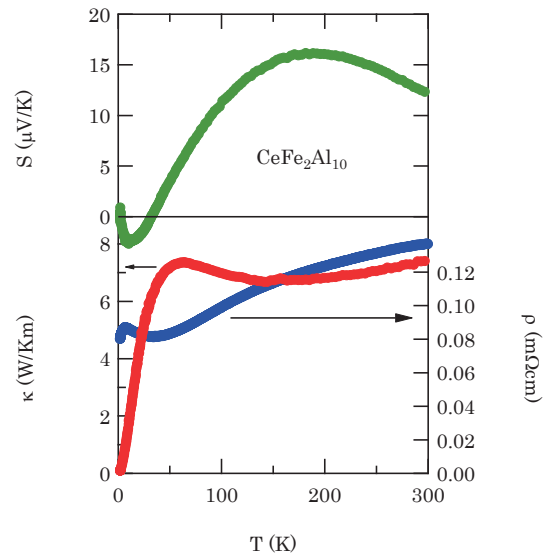
図1 CeFe₂Al₁₀のX線回折の結果

も少なからず観測され、反応が充分進行していないと考えられる．すなわち CeFe₂Al₁₀ の最適な合成温度は 600℃ よりさらに高温にあり、合成温度を上げることで純良な試料ができる可能性がある．今回、高温・高圧合成法によって得られた試料の格子定数は $a = 9.008 \text{ \AA}$, $b = 10.228 \text{ \AA}$, $c = 9.084 \text{ \AA}$ であり、常圧合成多結晶試料の $a = 8.992 \text{ \AA}$, $b = 10.216 \text{ \AA}$, $c = 9.065 \text{ \AA}$ ⁽¹⁾ より常圧育成単結晶試料の $a = 9.009 \text{ \AA}$, $b = 10.227 \text{ \AA}$, $c = 9.076 \text{ \AA}$ ⁽²⁾ に近い値になった．常圧合成とほぼ同じ格子定数であることから、今回得られた CeFe₂Al₁₀ の相はサイト置換などが起こっていない目的とする物質であると考えられる．また、本研究で得られた試料の格子定数が常圧で育成した多結晶のものより単結晶の格子定数に近いこと、へき開性があることから、高温・高圧合成で得られた試料は単結晶に近い状態にある可能性がある．一部不純物は含まれているが我々は高温・高圧合成法による CeFe₂Al₁₀ の育成に世界に先駆けて成功した．

3.2 熱電特性

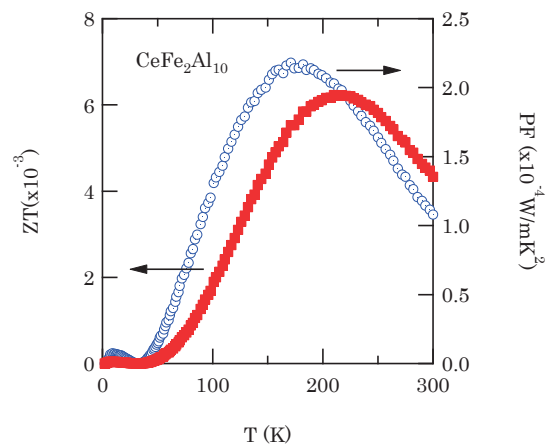
図2に CeFe₂Al₁₀ のゼーベック係数 (S)、熱伝導度 (κ)、電気抵抗率 (ρ) の温度依存性を示す．まず、ゼーベック係数 (図2上段) は 180 K に極大値を示し、7 K 付近で負の極小値を示す．負の極小値は反強磁性の可能性を示唆している．過去の報告では極大値は 60 $\mu\text{V/K}$ 程度の高い値をとっていたが、今回は 15 $\mu\text{V/K}$ 程度に留まった．

次に熱伝導度 (図2下段、左軸) は 50 K – 300 K の間であまり変化を示さず、7 W/Km 程度の値を示した．低温では 50 K に結晶物質特有のピークを示し、その後 0 に向かって急激に低下した．

図2 CeFe₂Al₁₀ のゼーベック係数(S)、熱伝導度(κ)、電気抵抗率 (ρ) の温度依存性

電気抵抗率 (図2下段右軸) は室温から降温に伴い金属的に低下した．35 K 以下で極小を示し、その後一旦上昇した後、7 K 付近で下方に向けて折れ曲がり性を示した．下方の折れ曲がり性は磁気相転移の可能性を示唆している．過去の報告によると常圧合成試料では室温から降温に伴い半導体的に上昇しており、常圧合成とは異なる結果を得た．

図3に S , κ , ρ を(1), (2)式に代入して得た無次元性能指数 ZT とパワーファクター PF の温度依存性を示す． ZT は 220 K に極大値を示す．極大値は 0.006 程度で実用化の目安の $ZT = 1$ と比べると小さい値になった．この原因は既述したようにゼー

図3 CeFe₂Al₁₀ の無次元性能指数(ZT)とパワーファクター(PF)の温度依存性

ーベック効果が過去の報告の 1/4 程度に小さくなったことに起因すると思われる。過去の報告では半導体であったにも関わらず、今回合成した試料では金属的な電気抵抗の温度依存性や低いゼーベック係数を示す。これは不純物の金属元素が大きく影響していると考えられる。

一方で、発電効率に関する指標である PF は 170 K 程度で極大値を示した。 PF の実用化の目安は 10^{-3} W/mK^2 程度であり、本研究ではその 1/5 程度と比較的高い値を示した。

4 今後の展望

4.1 $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ の純良化

我々は初めて高温・高圧合成法により $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ を主相とする試料の育成に成功したが、一方でまだ不純物を少なからず含んでいる。温度条件・圧力条件を調節することで純料な $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ の育成を試みる。今回ゼーベック係数が従来の 1/4 程度であり PF に換算すると従来の 1/16 程度であったにもかかわらず、実用化の目安の 1/5 程度の比較的高い値である。このことから、試料の純良化により実用化可能な PF が得られる可能性がある。

4.2 1210 系のその他の物質合成

今回 $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ の合成に成功したことにより、1210 系の物質が高圧合成できることが確認できた。この結果は常圧では合成不可能な 1210 系の物質を合成するための足がかりとすることができる。常圧で合成できない物質を合成することで、これまでに現れていない新奇物性や高い熱電性能を示す物質が見つかる可能性がある。また、1210 系には $\text{CeCo}_2\text{Al}_{10}$ や $\text{CeRh}_2\text{Al}_{10}$ など物性には興味を持たれているが常圧でできないために断念されている物質がある。高圧合成でこれらの物質の育成ができれば、この試料を用いた物性測定を行いたい共同研究者が世界中から現れることが予想できる。

4.3 実用化へ向けて

今回合成した $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$ の PF は 170 K 近傍で極大値を示す。この温度領域では液化天然ガス Liquefied Natural Gas (LNG) を用いた温度差発電へ

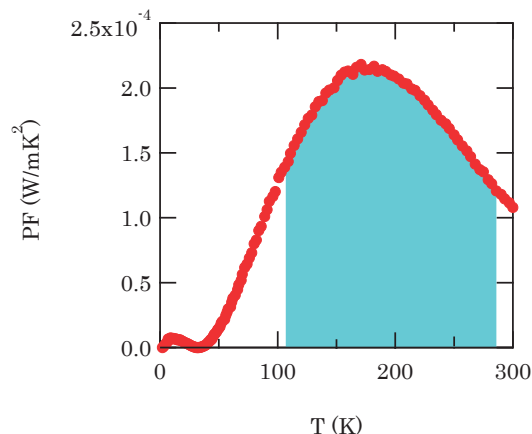


図4 LNGと室温との温度差発電を行った場合に有効となる PF の領域

の実用化が期待できる。LNG は輸送・貯蔵の為に体積を小さくする目的で液化した天然ガスである。日本で使われている天然ガスは主に LNG タンカーを用いて液体状態で輸送される。輸送は液体状態であるが、使用する為にはこれを気化させる必要がある。気化させる途中の経路に熱電変換材料を用いることで、海水 (280 K 程度) と LNG の沸点である 110 K との温度差での温度差発電ができ、北海道では石狩 LNG 基地などで利用できる可能性がある。

この場合は前述したように、熱浴の熱容量が十分に大きいことから、 ZT よりも PF の方が重要になってくる。実際の温度差発電を考えた場合は、図4の塗りつぶしたエリアで示したような面積に相当したエネルギーが得られる。ゆえに 170 K 近傍で極大値をもつ本研究の物質は PF の絶対値が 10^{-3} W/mK^2 を超えれば LNG を用いた実用化が期待できる。

参考文献

- (1) Y. Muro, K. Motoya, Y. Saiga, and T. Takabatake, Formation of a Hybridization Gap in a Cage-Like Compound $\text{CeFe}_2\text{Al}_{10}$, J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) 083707 (3 pages).
- (2) T. Nishioka, Y. Kawamura, T. Takesaka, R. Kobayashi, H. Kato, M. Matsumura, K. Kodama, K. Matsubayashi, and Y. Uwatoko, Novel Phase Transition and the Pressure Effect in $\text{YbFe}_2\text{Al}_{10}$ -type $\text{CeT}_2\text{Al}_{10}$ ($T = \text{Fe, Ru, Os}$), J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) 123705 (4 pages).

希土類の特性を活かした高度なサステナビリティを有する材料およびプロセス開発

葛谷 俊博^{*1, *2}, 佐々木 眞^{*1, *2}, 平井 伸治^{*1, *2}, 中根 英章^{*1, *2}, 桃野 正^{*1, *2}, 田湯 善章^{*1, *2}

The Development of Advanced Rare Earth Materials and Metallurgical Process with High Sustainability

Toshihiro KUZUYA^{*1, *2}, Makoto SASAKI^{*1, *2}, Shinji HIRAI^{*1, *2}, Hideaki NAKANE^{*1, *2}
Tadashi MOMONO^{*1, *2}, and Yoshiaki TAYU^{*1, *2}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

Rare earth related materials have been widely used for luminescent, magnetic and electronic materials. In the last decade, these materials are essential in the energy storage, energy saving and renewable energy technology, which enable us to realize the sustainable society. Rare earth elements except for several middle / heavy rare earths are plentiful in the Earth's crust. However, the uneven distribution of exploitable rare earth mineral makes it difficult to maintain their stable supply. In order to solve this problem, not only searching for new resource but also novel application development of unused rare earth elements is required. In this task, we dedicated to research on the following topics; the development of rare earth sulfide thermoelectric materials, environmental and economic friendly materials and the rare earth recycling processes.

Keywords: Rare earth, Thermoelectric material, Advanced functional material, Recycling

1 はじめに

希土類は、発光、磁性、電子材料として他元素にはない性質を示し、サステナブル社会実現に必要な高性能発電機や蓄電池をはじめとするエネルギーデバイスには欠かせない元素である。2009 年の尖閣諸島領有権を巡る争いを発端とした希土類問題は希土類元素が日本の産業界に欠かせない資源であり、その供給ルートが脆弱であることを浮き彫りにした。現在、希土類問題に対処すべく資源探索や供給先の多角化が模索されている。しかしながら、本問題の特質はディスプレイウム (Dy) などの一部の元素を除き、同時に産出される放射性元素の処理や他の希土類元素が供給過剰

となることにあり、資源探索ばかりでなく希土類の新規用途開発など包括的な施策が必要である。我々のタスクでは、乾式製錬や希土類化合物合成技術などのメンバーが得意とする技術を活用し、希土類の機能探索による余剰希土を利用したエネルギー材料の開発および含希土類廃棄物からの希土類回収プロセスの開発に取り組んでいる。余剰希土の有効利用では、(1) 希土類硫化物熱電材料、(2) 資源の供給安定性を考慮した代替材料の開発および、(3) 主に有価物を含む二次電池を中心とした廃棄物からの希土類回収プロセスに取り組んでいる。

2 研究ネットワーク

*1 室蘭工業大学 もの創造系領域

*2 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター

我々のタスクでは、ロシア科学アカデミー・シベリア支部・ニコラエフ無機化学研究所 (NIIC)

およびヨッヘ物理技術研究所 (IPTI) から研究者を招聘し、共同研究を実施している。ニコラエフ無機化学研究所は希土類化合物の研究で世界的に知られた研究機関であり、希土類硫化物の単結晶育成法に膨大なノウハウを有している。一方、ヨッヘ物理技術研究所は 1918 年にサントペテルブルクで設立され、物理学および技術分野ではロシア最大の研究所の一つである。現在までにランダウをはじめとし 5 人のノーベル賞受賞者を輩出した世界有数の研究機関である。この 2 つの研究機関より計 3 人の研究者を 3 ヶ月毎に招聘し共同研究を行った。招聘した研究者は 3 ヶ月間本学で研究を行った後、成果を所属研究機関に持ち帰り研究を継続する。従来のポスドクの採用とは異なり、高い専門性を有した研究者を採用することで、ノウハウの集積と迅速な研究展開が可能となる。また、日本からは産業技術総合研究所 (AIST) と共同研究を行っている (図 1 参照)。



図 1 研究ネットワーク

3 研究成果

このタスクでは 3 つのテーマのもと、以下に示す複数の研究がタスクメンバーおよび共同研究機関により実施されている。

(括弧内は共同研究機関)

(1) 希土類硫化物熱電材料

- ・相転移を利用した結晶粒サイズの制御 (AIST)
- ・Sm モノサルファイドの熱電特性 (IPTI)

(2) 資源の供給安定性を考慮した代替材料

- ・TiS₂ 熱電材料の開発 (NIIC, AIST)
- ・軽・重希土含有セラミックス

(3) 廃棄物からの希土類回収プロセス

- ・Ni-MH 電池からの希土類回収 (NIIC)
- ・Li イオン二次電池のリサイクルプロセス

本稿では筆者が研究を進めているリサイクルに関する研究を中心に研究成果の概要を記す。

3.1 希土類硫化物熱電材料

日本の CO₂ 年間総排出量は 12 億トンに達し、その中で自動車を主とする運輸部門が 2 億 4 千万トン占める。日本は、2020 年までに年間 3 億トンの CO₂ 削減目標を定めているので、運輸部門で 5500 万トンの CO₂ 削減が必要となる。ガソリンエンジンやディーゼルエンジンをはじめとする自動車用内燃機関は、化石燃料の燃焼により動力を発生させるが、そのエネルギーの大部分は 800 °C に達する高温ガスとして排出される。一般的な自動車用ガソリンエンジンで熱効率が 25% 程度、効率が高いとされるディーゼルエンジンでも 35% 程度であり、100 馬力のガソリンエンジンの場合、約 200kW が熱として廃棄されていると見積もられる (図 2)。一方、エアコンを含めた電装品の消費電力は約 4kW であるので、1% の廃熱を電力に変換できれば自動車の総電力消費の 50% をまかなうことが出来る。これにより燃費が 3% 改善され、結果的に CO₂ 排出を 600 万トン削減することが可能となる。本タスクでは排ガスの温度である 400 ~ 800°C の温度域で使用可能な熱電材料の開発を目指す。

本研究テーマでは CS₂ ガス硫化による希土類硫化物の合成と、それに続く SPS 焼結による焼結体の作製を行い、Th₃P₄ 型希土類硫化物焼結体の熱電特性について検討を行っている。希土類硫化物は α (斜方晶), β (Ln₁₀OS₁₄; 正方晶), γ (立方晶) と様々な結晶構造を持ち、その構造は温度や硫化物中の酸素濃度に依存する。我々は、希土類硫化物をアニーリングすると、焼結時に β 相を経由した相転移を起こすことを見いだした。この相転移を利用し結晶粒を微細化することで熱伝導度を下げ、熱電特性を向上することが出来た。この他にも、ニコラエフ無機化学研究所と希土類硫化物単結晶の合成法について、ヨッヘ物理科学技術研究所と Sm モノサルファイドの合成と熱電特性について共同で研究を進めている (1)(2)。

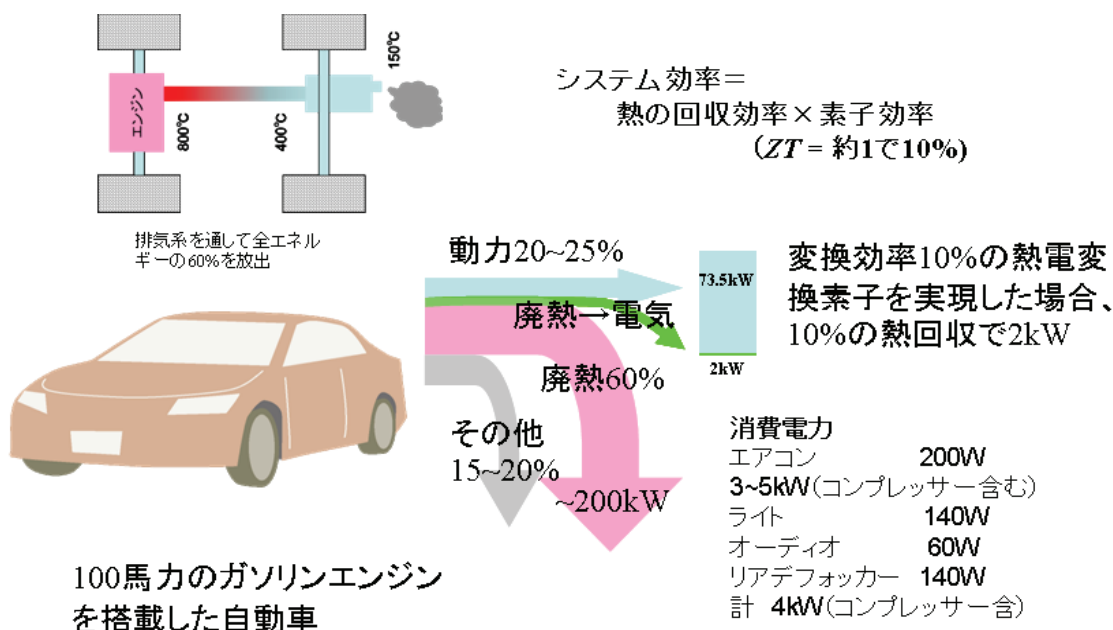


図2 一般的な内燃機関を搭載した輸送機器におけるエネルギーフロー

3.2 代替材料の開発

代替材料では、豊富に存在し無害な元素からなる機能性材料の創成を目指している。また、現在用途がなくだぶついている軽希土の新機能発現による機能性材料の開発を併せて進めている。

チタン硫化物 (TiS_2) は層状化合物で、それを構成するチタン、硫黄とも地殻中に豊富に存在し、かつ比較的無害な元素である。我々は CS_2 ガス硫化と SPS 焼結を組み合わせ結晶粒の配向性を制御した焼結体を作製し、その無次元性能指数 (ZT) が 400°C で 0.4 を示すことを見いだした⁽³⁾。

軽希土含有セラミックスでは、中温度域での酸素センサー材料として $\text{Nd}_2\text{NiO}_{4+\delta}$ を、発光材料として YBO_3 : Ce, Tb 白色蛍光体の研究を行っている。これらの機能性材料の開発により市場でだぶつく Nd, Ce などの軽希土の需要喚起をはかり、Dy を中心とする希土類問題解決の一助となれればと考えている。

3.3 Ni-MH 電池からの希土類回収⁽⁴⁾

ハイブリッドカーには強力なモーターや大容量バッテリーなどが搭載されており、これに伴いレアメタルの使用量が大幅に増加する結果となった。例えば、ハイブリッドカー1台製造するのに約 11 kg の希土類、1 kg のコバルト、ニッケル 10 kg 必要だと言われている。希土類の場合、重量比で 1 %

程度の含有量であり、これは希土類の天然鉱物とほぼ同程度である⁽⁵⁾。

Ni-MH 電池は活物質に希土類とニッケルの希土類-遷移 (RE-TM) 金属間化合物が使用されている。他にも、Co や Mn などのレアメタルを多く含んでおりこの廃棄物は資源的にも価値が高い。現在、ハイブリッドカーや電気自動車用のバッテリーに使用されているが、近い将来、よりエネルギー密度が高いリチウムイオンバッテリーに置き換えられると推察される。よって、活物質の再生ではなく、希土類やニッケルをはじめとするレアメタルを電池スクラップから回収することになる。

活物質である RE-TM 金属間化合物からの希土類やレアメタルの回収方法は多数提案されており、湿式製錬の場合、酸によるリーチングとそれに続く溶媒抽出を組み合わせた方法が一般的である。この方法では、金属状態にあるニッケルやコバルトを溶解した後、もう一度還元を行う必要があり、高純度な素材が得られる可能性があるが、エネルギーコスト的に不利になる恐れがある。

岡部らはこのような問題に対処すべく、熔融金属を抽出剤とした分離プロセスを提案している⁽⁶⁾。この方法では、希土類を金属の状態で回収することが可能である等の利点がある。一方、宇田は金属塩化物を塩化剤とした塩化焙焼法を提案している⁽⁷⁾。この方法では、希土類は利用価値の高

い塩化物とし、遷移金属は金属状態で回収可能である。以上のような流れから、本研究では Ni-MH バッテリーに使用されるミッシュメタルニッケル (Mm-Ni; Mm : Mish metal の略, ここでは La, Ce, Nd の混合物) 金属間化合物のリサイクルに、四塩化炭素 (CCl_4) ガスを利用した塩化焙焼法を提案する。

金属間化合物として LaNi_5 , 塩化剤として塩化ニッケル, 塩化鉄, 塩化アンモニウム, 塩素ガスおよび CCl_4 を選び熱力学データ^⑧から各種塩化剤の挙動について検討を行った。その結果, CCl_4 は強力な塩化剤でありかつ熱分解で生じる炭素は脱酸剤として働き希土類オキシクロライドの生成を防ぐ働きがあることがわかった。また, CCl_4 は塩化ポテンシャルが高いためニッケルやコバルトなどの遷移金属も塩化するが, 物質拡散が律速段階である場合 (すなわち擬似的に $\text{La} / \text{LaCl}_3$ 平衡が成り立っていると考えることが出来る), 遷移金属塩化物 (NiCl_2) の活量が 10^{-35} のオーダーと非常に小さく, 選択的に希土類のみが塩化されると見なすことが出来る。この結果を基に, Mm-Ni 金属間化合物を 673K で CCl_4 ガスにより塩化焙焼した。焙焼後の試料を XRD より分析したところ, 希土類のみを優先的に塩化出来ることを確認した。また, Ce および Nd オキシクロライドの発生を確認したが, そのピーク強度より, その割合は小さいと考えられる。一方で, La オキシクロライドの生成は認められなかった。これは, Nd, Ce オキシクロライドが La に比べ安定なためと考えられる。次に, 焙焼灰を純水によりリーチングしたところ, La, Ce および Nd の抽出率は, それぞれ 97 %, 87 % および 70 % となった。一方, 抽出残渣である合金中に, Ni の 86 %, Co の 87 % をそれぞれ回収することが出来た。この結果は, XRD の結果と対応しており Nd, Ce の抽出率が低いのは, オキシクロライドの溶解度が低いためと考えられる。

以上の結果から, 次のようなリサイクルフローを提案することが出来る (図 3)。始めに, 廃電池をシュレッダーで粉砕し, 篩いにより電極活物質粉末とケースなどのスクラップに分別する。Mm-Ni 金属間化合物は強磁性体, 対極の水酸化ニッケルは反強磁性であり, また比重の差が大きいので, 磁選または重液選別 (比重選別) により活物質の相互分離が可能である。この段階で得られた水酸化ニッケルはこのままニッケルの製錬原料に供される。一方で, Mm-Ni 金属間化合物は塩化

焙焼により希土類を抽出後, 母合金や Ni 製錬の原料として活用することが可能である。

4 最後に

希土類をキーワードに, 材料の開発からその最終段階であるリサイクルプロセスにいたるまで, 希土類材料を包括的に研究するタスクを構築した。ロシア科学アカデミー・ヨッヘ物理科学技術研究所 (IPTI), ニコラエフ無機化学研究所 (NIIC), 産業技術総合研究所 (AIST) とのコラボレートにより室蘭発の新材料およびプロセスの研究を発信出来ればと考えている。最後に本タスクを支えていただいたメンバー, および共同研究機関研究員, また室蘭工業大学材料工学コースの学生諸氏にこの場を借りてお礼を申し上げます。

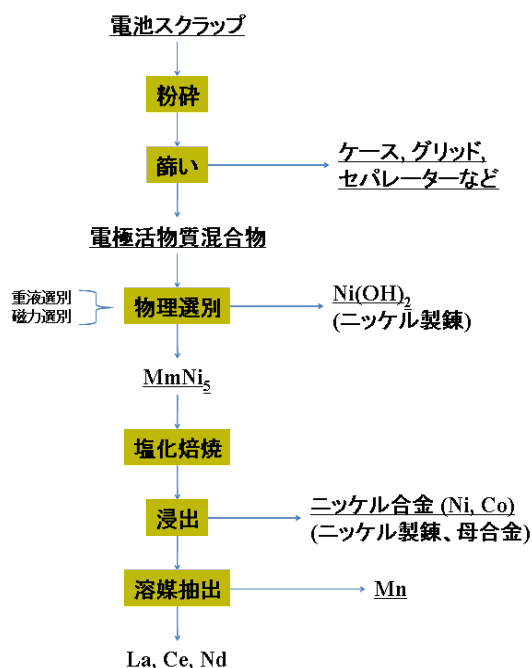


図 3 Ni-MH バッテリーのリサイクルフロー

参考文献

- (1) V. Kaminskii, T. Kuzuya, S. Hirai, S. Solov'ev, N. Sharenkova, M. Kazanin, and V. Kaminskii, Electrical conductivity of SmS polycrystals, Phys. Solid State, **54** (2012) p1345-1347.
- (2) V. Egorov, T. Kuzuya, V. Kaminskii, S. Hirai, and N. Sharenkova, Specific features of the structure of semiconducting SmS polycrystals in the homogeneity region, Phys. Solid State, **54** (2012) p48-52.
- (3) M. Ohta, S. Satoh, T. Kuzuya, S. Hirai, M. Kunii, and A. Yamamoto, Thermoelectric properties of $\text{Ti}_{1+x}\text{S}_2$ prepared by CS_2 sulfurization, Acta Mater., **60** (2012)

p7232-7240.

- (4) T. Kuzuya, S. Hirai, and V. Sokolov, Recovery of Valuable Metals from a Spent Nickel–Metal Hydride Battery: Selective Chlorination Roasting of an Anodic Active Material with CCl_4 Gas, *Sep. Purif. Technol.*, **118** (2013) p823-827.
- (5) <http://ednjapan.cancom-j.com/news/2009/9/5471>.
- (6) T. H. Okabe, O. Takeda, K. Fukuda, and Y. Umetsu, Direct Extraction and Recovery of Neodymium Metal from Magnet Scrap, *Mater. Trans.*, **44** (2003) p798-801.
- (7) T. Uda, Recovery of Rare Earths from Magnet Sludge by FeCl_2 , *Mater. Trans.*, **43** (2002) p55-62.
- (8) I. Barin, *Thermodynamical Data of Pure Substances* (3rd edit.), VCH, Weinheim, Germany, 1995.

希土類酸化物で修飾した W 電界放射陰極の仕事関数

—PEEM と FEM による検討—

中根 英章^{*1, *2}, 武田 紘己^{*3}

W Field Emission Cathode Covered with Rare Earth Oxide Mono-Layer.

—PEEM analysis and FEM analysis—

Hideaki NAKANE^{*1, *2}, and Hiroki TAKEDA^{*3}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

When the apex of tungsten field emitter modified by rare earth oxide mono-layer, the work function of W(100) surface is reduced. The low work function surface is expected to be much emission current. The work function of W(100) surface modified by rare earth oxide mono-layer are measured by PEEM (Photo Emission Electron Microscope). The field emission characteristics were observed with the tungsten field emitter modified by rare earth oxide. And, the work function was estimated from the F-N plots

Keywords : W field emitter, rare earth oxide, transition metal oxide, W(100) surface, low work function surface

1 はじめに

現在, 高輝度な電子源として ZrO/W(100)熱電界電子放射陰極が実用化されている. これは陰極先端の仕事関数 4.6eV の W(100)面を Zr 酸化物で表面修飾することで低仕事関数面を形成し, 2.7eV まで低下させたものである. 表面修飾による W(100)面の仕事関数低下現象を起こす材料として希土類酸化物が注目された⁽¹⁾. 本研究では, 希土類酸化物 Nd₂O₃, および軽希土類酸化物 La₂O₃, CeO₂を用いて W(100)面を修飾し, 低仕事関数面の形成を試みた. 電界放射陰極先端の仕事関数は電界放射特性からの F-N plot と先端半径の測定値から求めることができるが先端半径の不確かさなどにより推定値の域を出ない. そこで, 本研究では物性値としての仕事関数を得るために光電子放射顕微鏡(PEEM)を用いて測定を行った.

2 実験方法

2.1 光電子放射顕微鏡(PEEM)による仕事関数測定

図 1 に光電子放射顕微鏡(PEEM)による測定装置の概略図を示す. 光電子放射顕微鏡(PEEM)においては W(100)平板上に酸化物を塗布して PEEM 内の試料台に設置し, 加熱して酸化物を W(100)平板上に拡散する. さらに, 低仕事関数面形成のため高温熱処理を行いモノレイヤの形成を行った. この試料表面に種々の波長の光を照射し, 放出された光電子を PEEM 光学系で測定して, 仕事関数を決定するが, 室温での仕事関数を評価するため, 入射波長と光電子量から Fowler plot を作成し, これより仕事関数を決定した.

2.2 電界放射陰極の作成と仕事関数の推定

電界放射陰極は次の手順で作製した. 多結晶タングステン線材を電解研磨し, 先端半径 0.1~0.2μm 程度にした. 作製した W 針のシャンクに溶剤で溶いた酸化物を塗布し, 超高真空容器に導入

*1 室蘭工業大学 もの創造系領域

*2 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター

*3 室蘭工業大学 情報電子工学系専攻

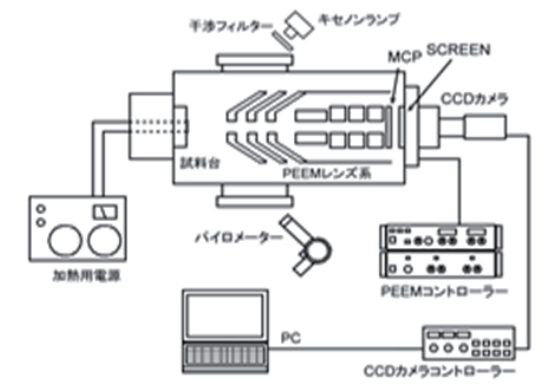


図 1 光電子放射顕微鏡(PEEM)の概略図

した．超高真空容器を 10^{-7} Pa 程度の超高真空にした．超高真空中において陰極試料を通電加熱し，酸化物を陰極先端へ熱拡散した．陰極と対向させた蛍光板(陽極)間に 2～3kV の高電圧を印加し，陰極からの電界電子放射像を観察した．電界電子放射像を観察し，(100)面への電子放射の集中を確認後，印加電圧－放射電流特性を測定した．測定結果から F-N(Fowler-Nordheim) plot を作成した．F-N plot の傾きと SEM で確認した陰極先端の半径から仕事関数を推定した．

3 実験結果及び検討

3.1 Nd_2O_3 の光電子放射顕微鏡 (PEEM) による測定結果

W(100)平板に希土類酸化物 Nd_2O_3 を塗布し加熱し，表面に拡散させる．次に低仕事関数面形成のために 1300K から 2300K まで 100K ごとに 10 秒程度の加熱を行った．

低仕事関数化した試料に 300nm～460nm まで 20nm 毎に干渉フィルターで狭帯域化した光を照射し，その時の光電子像を記録する．Nd oxide/W(100)面を 2100K で加熱したときの光電子像を図 2，図 3 に示す．各入射光波長における光電子像の明るさを数値化し，作成した Fowler plot を図 4 に示す．

入射光波長 300nm から 460nm に対する明るさを測定することができた．この測定値に理論値の $\ln F(\delta)$ のラインをフィッティングすると，理論値と測定値の間の横軸の shift が 93 となった．この shift 量から仕事関数を求めることができる．本研究では試料が高電界中にあるため，ショットキー効果による影響の補正を行う必要がある⁽²⁾．よって仕事関数は次式のように求められる．

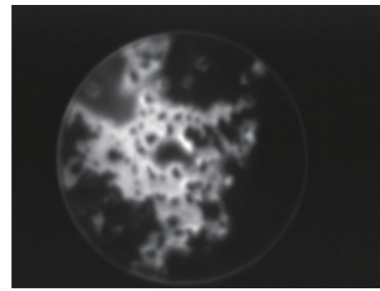


図 2 380nm での Nd oxide/W(100)面の光電子像

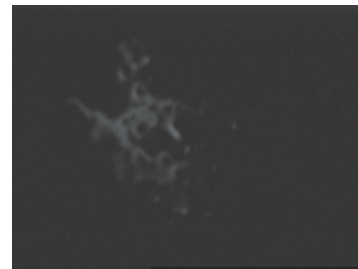


図 3 400nm での Nd oxide/W(100)面の光電子像

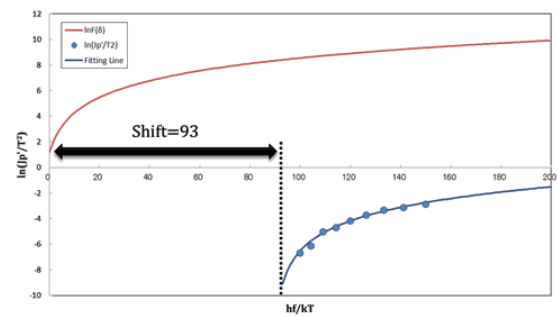


図 4 Nd-oxide/W(100)の Fowler プロット

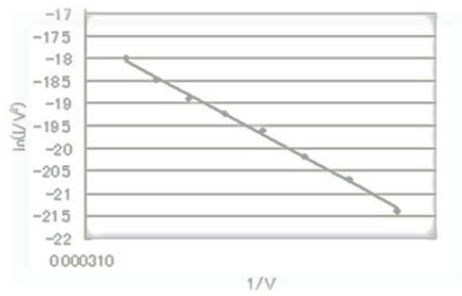
$$\phi = \frac{kT \times 93}{e} + 0.06 = 2.48 [\text{eV}] \cdots \cdots (1)$$

同様の測定を 9 回行った結果，仕事関数は 2.47～2.53eV となり最頻値が 2.5eV となった．

3.2 Nd_2O_3 で修飾した電界放射陰極の作製と仕事関数の推定

電解研磨により作製した W 針のシャンクに溶剤で溶いた Nd_2O_3 を塗布し，超高真空容器に導入した後， 10^{-7} Pa 程度の超高真空にした．陰極を 1600～1900K で加熱し酸化物を陰極先端に拡散した．電界放射のパターンが(100)面に集中することを確認してから電流電圧特性を測定した． Nd_2O_3 の場合，1700K で 1 時間以上の加熱で電流集中が始まることがわかった．このときの電流電圧特性より F-N plot を作成した(図 5)．

この陰極を SEM により先端半径を測定すると，

図 5 Nd_2O_3 で修飾した電界放射陰極の F-N plot

$2.3\mu\text{m}$ となり, F-N plot の傾きとともに仕事関数を推定すると, 約 2.5eV となり, 光電子放射顕微鏡 (PEEM) による測定値と一致した.

3.3 La_2O_3 の光電子放射顕微鏡 (PEEM) による測定結果

W(100) 平板に軽希土類金属酸化物である La_2O_3 を塗布して 1300K で 10 秒程度加熱し, 表面に拡散させる. 次に, 低仕事関数面形成のため $1400\text{K} \sim 1500\text{K}$ まで 100K ごとに 10 秒の加熱を行った.

$300\text{nm} \sim 480\text{nm}$ の間で 20nm 毎に干渉フィルターで狭帯域化した光を照射し, その時の光電子像を記録する. La oxide/W(100)面を 1500K で加熱した

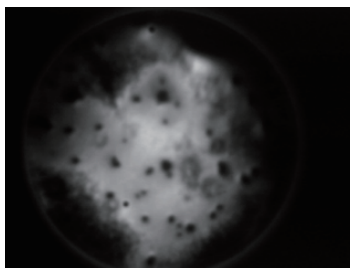
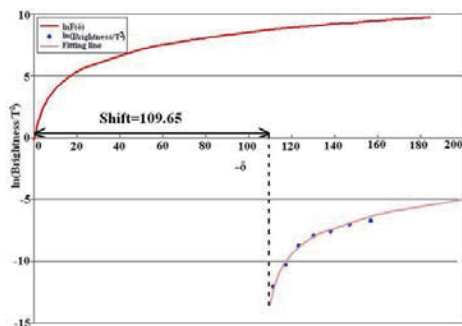
図 6 320nm での La oxide/W(100)面の光電子像

図 7 La-oxide/W(100)の Fowler プロット

ときの光電子像を図 6 に示す. 各入射光波長における光電子像の明るさを数値化し, 作成した Fowler plot を図 7 に示す.

Fowler plot の横軸の shift 量から仕事関数を求めることができる. 本研究では試料が高電界中にあるため, ショットキー効果による影響の補正を行う必要がある. よって仕事関数は次式のように求められる.

$$\phi = \frac{\text{Shift} \times kT}{e} + 0.06 = 2.9[\text{eV}] \cdots (2)$$

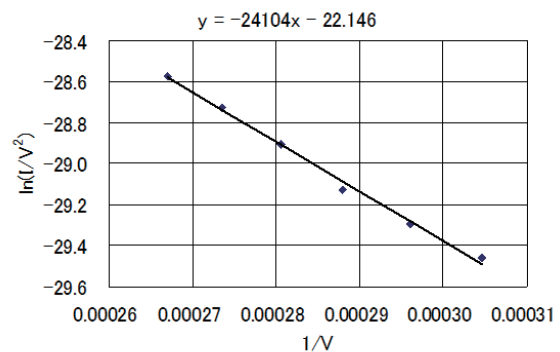
3.4 La_2O_3 で修飾した電界放射陰極の作製と仕事関数の推定

W 針のシャンクに溶剤で溶いた La_2O_3 を塗布し, 超高真空容器に導入した後, 10^{-7}Pa 程度の超高真空にした. 陰極を 1100K で加熱し酸化物を陰極先端に拡散したところ, 酸化物が還元してしまった. そこで, より低温で酸素導入を行い, 先端表面の La を酸化してから電界放射のパターンを確認して電流電圧特性を測定した. このときの電流電圧特性より作成した F-N plot を図 8 に示す.

SEM により測定した先端半径と F-N plot の傾きより仕事関数を推定すると, 2.47eV となり光電子放射顕微鏡 (PEEM) の測定値よりも小さな値となった. しかしながら, La 酸化物の場合, 還元した後には再酸化しなければならないという問題が生じた.

3.5 CeO_2 の光電子放射顕微鏡 (PEEM) による測定結果

W(100) 平板に軽希土類金属酸化物である CeO_2 を塗布して 1600K で 10 秒程度加熱し, 表面に拡散させる. 次に, 低仕事関数面形成のため 1500K で 10 秒の加熱を行った. CeO_2 の場合, 高温では酸化物の蒸発が起こった. $300\text{nm} \sim 480\text{nm}$ の間で 20nm 毎

図 8 La_2O_3 で修飾した電界放射陰極の F-N plot

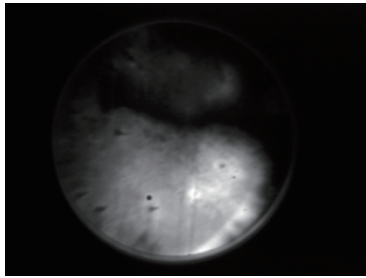


図9 320nmでのCe oxide/W(100)面の光電子像

に干渉フィルターで狭帯域化した光を照射し、その時の光電子像を記録する。Ce oxide/W(100)面を1500Kで加熱したときの光電子像を図9に示す。

入射光波長における光電子像の明るさを数値化し、作成したFowler plotを図10に示す。Fowler plotの横軸のshift量から仕事関数を求めることができる。本研究では試料が高電界中にあるため、ショットキー効果による影響の補正を行う必要がある。よって仕事関数は次式のように求められる。

$$\phi = \frac{\text{Shift} \times kT}{e} + 0.06 = 2.5[\text{eV}] \cdots (3)$$

3.6 CeO₂で修飾した電界放射陰極の作製と仕事関数の推定

W針のシャンクに溶剤で溶いたCeO₂を塗布し、超高真空容器に導入した後、10⁻⁷Pa程度の超高真空にした。陰極を1200K~1350 Kで加熱し酸化物を陰極先端に拡散したところ、酸化物が還元してしまった。そこで、より低温の1100Kで酸素導入を行い、先端表面のLaを酸化してから電界放射のパターンを確認して電流電圧特性を測定した。このときの電流電圧特性より作成したF-N plotを図11

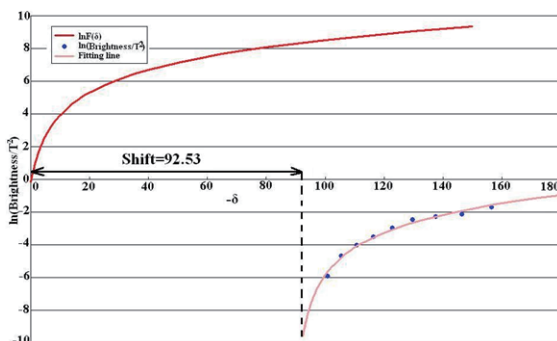
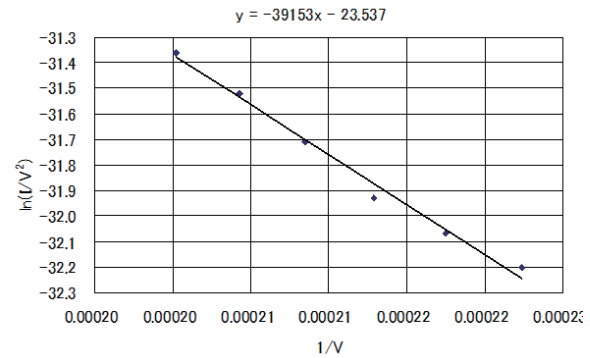


図10 Ce-oxide/W(100)面のFowler plot

図11 CeO₂で修飾した電界放射陰極のF-N plot

に示す。SEMにより測定した先端半径とF-N plotの傾きより仕事関数を推定すると、2.87eVとなり、光電子放射顕微鏡(PEEM)による測定値よりも大きな値となった。しかも、Ce酸化物の場合と同様に、還元した後に再酸化しなければならないという問題が生じた。

4 まとめ

希土類酸化物Nd₂O₃、および軽希土類酸化物La₂O₃、CeO₂を用いてW(100)面を修飾し、低仕事関数面の形成を試み、光電子放射顕微鏡(PEEM)による測定と電界放射特性による推定を行った。希土類酸化物Nd₂O₃では光電子放射顕微鏡(PEEM)による測定値と電界放射特性からの推定値は2.5eVとなった。軽希土類酸化物であるLa₂O₃とCeO₂では光電子放射顕微鏡(PEEM)による値が2.9eV、2.5eVで、電界放射陰極としたときには2.47eV、2.7eVとなった。しかし、W針先端への拡散の再の高温処理に際して酸化物から金属への還元が起こり、酸素導入により再酸化の必要があった。

参考文献

- (1) Y. Saito, T. Yada, T. Kawakubo, K. Minami, H. Nakane, and H. Adachi, Experimental Relationship between Work Function and Dipole Moment on ErO/W(100) and LuO/W(100) Emitter Surfaces, J. Vac. Sci. Technol. B **22** (2004) p2743-2747.
- (2) Y. Nakano, H. Nakane, and H. Adachi, Work Function Measurement of Modified W(100) Surface with Transition Metal by Photoemission Electron Microscopy, Jpn. J. Appl. Phys. **47** (2008) p1713-1716.

低温ペルチェ冷却用超伝導材料の最適ホール濃度 ナノスケールでの高温超伝導の均一性

桃野 直樹^{*1, *2}, 阿部 哲^{*3}, 田島 健士^{*3}, 清水 茉椰^{*3}, 守屋 佑基^{*3}, 原田 諒佑^{*3}
シュテファン バール^{*4}, 戎 修二^{*1, *2}, 酒井 彰^{*1, *2}

Study on the Optimal Hole Concentration of High- T_c Superconductors for Low Temperature Peltier Refrigeration Homogeneity in r - and k -spaces of high- T_c superconductivity

Naoki MOMONO^{*1, *2}, Satoshi ABE^{*3}, Takeshi TAJIMA^{*3}, Maya SHIMIZU^{*3}, Yuki MORIYA^{*3}
Ryosuke HARADA^{*3}, Stefan BAAR^{*4}, Shuji EBISU^{*1, *2}, and Akira SAKAI^{*1, *2}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

We have studied homogeneity of the superconductivity in the Bi-based high- T_c cuprates ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$) to utilize as a thermoelectrically passive leg of Peltier junctions at low temperatures. Homogeneity of the superconductivity, investigated by Scanning Tunneling Microscopy/Spectroscopy, depends on hole concentration in average. The superconductivity tends to be more homogeneous at higher hole concentrations. Taking it into account that the Peltier junctions with superconducting passive legs work below the liquid nitrogen temperature (~ 77 K), the optimal hole concentration for passive Peltier refrigeration will be around slightly higher hole concentrations than optimal hole concentration for T_c .

Keywords : Homogeneity, Superconductivity, Peltier refrigeration

1 はじめに

我々は希土類プロジェクト磁気冷凍タスクの後を受け、希土類化合物を応用した新規な低温冷凍器の開発を目指し、平成 24 年度後半からこの「ペルチェ冷凍」タスクをスタートさせた。現在も環境調和材料工学研究センター希土類プロジェクト内のタスクの一つとして研究を継続させている。本報告では、これまでの主な成果について簡単に

述べる。

現在、精密物性評価や分析などでは、液体窒素温度以下 (~ 77 K 以下) の低温に試料を冷やした上で、マイクロな測定を行う場合が多い。その場合、走査プローブ顕微鏡 (例えば、原子間力顕微鏡) などのナノテクノロジーを用いた装置では、原子スケールで振動がない静穏な低温環境が必要となる。コンプレッサーを必要とする GM 冷凍機やパルスチューブ冷凍機による冷却では原子レベルでの静穏化が困難なため、通常、液体ヘリウムによる冷却が行われている。しかし、近年、ヘリウムが戦略物質化したことや省資源の観点から、ヘリウムを使わない冷却が強く求められている。

ヘリウムフリーの冷却方法として、ペルチェ冷

*1 室蘭工業大学 しくみ情報系領域

*2 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター

*3 室蘭工業大学 応用理化学系専攻

*4 室蘭工業大学 物質工学専攻

却が従来から知られている．ペルチェ冷却は，現在，小型の冷蔵庫や恒温制御などに広く用いられているが，その温度領域は室温近傍が中心であり，様々な研究機関や大学等で使われる低温領域（液体窒素温度以下）とはまだ離れている．液体窒素温度以下でのペルチェ冷却用材料は精力的に研究されているが，まだその応用には至っていない．低温領域において高いゼーベック係数と低い熱伝導率を有する p 型と n 型素子の両方を開発する必要があることが大きな問題の一つとなっている．

この問題を解決する方法の一つとして，p 型と n 型の両方の素子を使う代わりに，片方の素子を超伝導体で置き換える方法がある．これは，超伝導状態では電子系の熱伝導率がゼロとなる性質を利用するものであり，通常のペルチェ素子と異なり熱を輸送する働きが無いいため，パッシブ素子と呼ばれる．

これまでに，n 型素子で低温において比較的高いゼーベック係数と低い熱伝導率をもつ材料（Bi-Sb 合金）と銅酸化物超伝導体を組み合わせた研究が報告されており，液体窒素温度から 5 K ~ 7 K 程度さらに温度を下げることに成功している．これらの研究では，n 型素子と組み合わせる超伝導体として単純に超伝導転移温度 T_c が高い Y 系や Bi 系の銅酸化物が用いられている．近年の銅酸化物に関する研究の進展を踏まえると，それらの超伝導体をパッシブ素子用としてより最適化することが可能である．

近年，銅酸化物超伝導体の超伝導がキャリア濃度（ホール濃度）に依存して本質的に不均一になることが報告されている．この超伝導の不均一さは超伝導転移温度には直接的には関係なく，試料のキャリア濃度や競合する他の秩序などに関係すると考えられている．パッシブ素子として使うためには，均一な超伝導により熱伝導が十分に小さくなることが求められる．

本タスクでは，これらを踏まえ，銅酸化物超伝導体においてパッシブ素子に最適な組成を明らかにすることを目的としている．これにより，低温冷却用ペルチェ素子の冷却能力が向上し，最終的にヘリウムを使わない無振動で高効率な小型冷凍機の実現につながると考えている．

2 実験

試料は 90 K 級の高温超伝導体である Bi2212 系

銅酸化物 ($\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{CaCu}_2\text{O}_{8+\delta}$) を用いた (図 1)．この系は 2 枚の Bi-O 面がファンデルワールス力で弱く結合しており，その面間で容易に劈開できる．劈開により清浄な原子面が得られるため，これまでもミクロな実験に多く用いられている．

Bi2212 系を含め銅酸化物超伝導体では，超伝導転移温度 T_c の高温から擬ギャップと呼ばれるギャップ様構造がフェルミ面上に発達することが明らかとなっている．この擬ギャップの発達は， T_c や超伝導の均一性に影響すると考えられ，現在でも擬ギャップと超伝導の関心に興味を持たれている．我々は，赤外線イメージ炉を用いた溶媒移動型浮遊帯域法 (Traveling Solvent Floating Zone 法) によりキャリア濃度（ホール濃度）を系統的に変えた Bi2212 単結晶を作製し，その超伝導の均一性を磁場中比熱，電子ラマン分光，走査トンネル顕微鏡・分光から調べた．

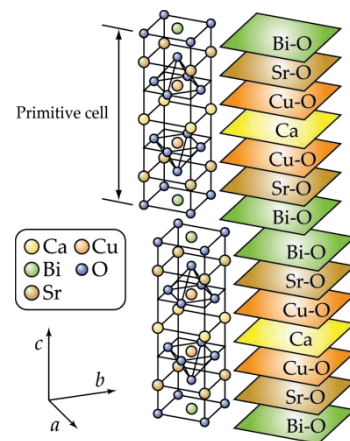


図 1 Bi2212 の結晶構造

3 結果と考察

3.1 磁場中比熱

Bi2212 系をはじめ，全ての銅酸化物超伝導体の超伝導は d 波の対称性を持つ．この系の d 波超伝導ギャップはフェルミ面の (π, π) 方向にノードを持ち， $(\pm\pi, 0)$ ， $(0, \pm\pi)$ 方向（アンチノード）で最大となる． d 波超伝導体に $T < T_c$ で磁場を印加すると，フェルミエネルギー (E_F) 付近の状態密度がドップラーシフトにより回復する．この状態密度の回復はノード付近で起こり，その大きさは， $H^{1/2}$ 乗に比例する．電子比熱 C_{el} の温度に比例する項 (T -linear 項) の係数 $\gamma(T)$ は E_F 付近の状態密度を

反映するため、 γ も $H^{1/2}$ 乗に比例して回復する．このときの比例係数を A とすると、 A は

$$A = \frac{4k_B^2}{3\hbar} \sqrt{\frac{\pi}{\phi_0}} \frac{nV_{\text{mol}}}{d} \frac{a}{v_\Delta}$$

で与えられる．ここで、 n は Cu-O 面の枚数、 d は Cu-O 面間の距離、 V_{mol} はモル体積、 a は磁束格子で決まる定数、 ϕ_0 は磁束量子、 v_Δ はギャップスロープである．上式より、 γ の磁場依存性から d 波ギャップのノード近傍におけるギャップスロープ v_Δ が求められることが分かる．このギャップスロープ v_Δ をアンチノード領域 $((\pm\pi, 0), (0, \pm\pi)$ 付近)へ外挿することにより、 d 波超伝導ギャップの大きさ Δ_0 が得られる．比例係数 A を正確に求めるためには磁場による Schottky 比熱を考慮する必要があるが、本研究では 2 レベル系に対する Schottky 項を現象論的に取り入れてグローバルフィッティングを行い、磁場中の γ を決めた．

図 2 にフィッティングから決めた γ の磁場依存性を示す．実線は $\gamma = AH^{1/2}$ の理論曲線である．両者が良く一致していることが分かる．理論曲線の係数 A から v_Δ と Δ_0 を求めると、それぞれ $v_\Delta = 7.4 \cdot 10^3$ cm/s、 $2\Delta_0 = 36$ meV となった．これらは既に報告されている他の実験結果と符合する．

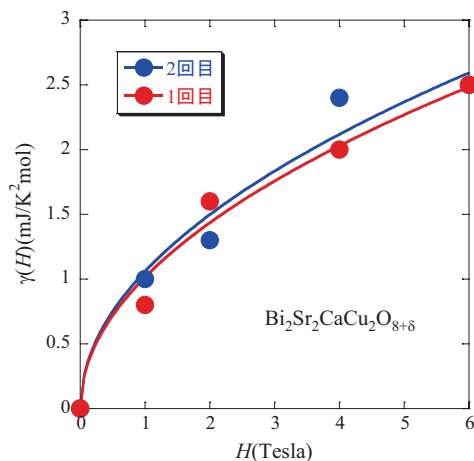


図 2 γ の磁場依存性

3.2 電子ラマン分光

超伝導体に対する電子ラマン分光実験では、ラマンスペクトルに現れる pair-breaking peak のエネルギーから超伝導ギャップの大きさ $2\Delta_0$ を求めることができる．また、入射光の偏向方向と検出する散乱光の偏向方向を変えることにより、フェル

ミ面の特定の領域におけるギャップを調べることが可能である．例えば、銅酸化物超伝導体の場合、Cu-O 結合軸方向（以後、 x 軸）に偏向した光を照射し、それと 90 度ずれた方向（以後、 y 軸）に偏向した光を検出するとノード付近を反映する B_{2g} モードのラマンスペクトルが得られる．また、 x 軸から 45 度ずれた方向に偏向した光を照射し、それと 90 度ずれた方向に偏向した光を検出するとアンチノード付近を反映する B_{1g} モードのラマンスペクトルが得られる．

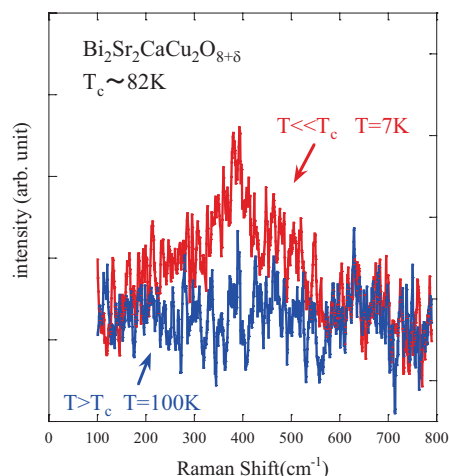


図 3 B_{1g} ラマンスペクトル

図 3 に $T = 7$ K ($\ll T_c$) と $T = 100$ K ($> T_c$) で得られた B_{1g} スペクトルを示す． $T = 7$ K のスペクトルでは、 390 cm^{-1} 付近にブロードなピークが見られる．そのエネルギーからギャップの大きさを求めると、 $2\Delta_0 = 48$ meV となる．この大きさは、磁場中比熱の結果より 3 割程度大きい．これは、高ホール濃度においても擬ギャップがアンチノード付近で発達しているためと考えられる．

3.3 走査トンネル顕微鏡・走査トンネル分光

走査トンネル顕微鏡・分光 (STM/STS) の実験では、原子像を観測した上で、原子像上の各点でトンネルスペクトルを測定することにより、超伝導ギャップの場所依存性をナノスケールで調べることができる．図 4 に T_c が最も高くなる最適ホール濃度より少し低ホール濃度の単結晶試料で観測した原子像を示す．Bi2212 に特徴的な 1 次元の変調構造に加えて個々の原子 (Bi 原子) が明瞭に見えている．図 5 に原子像を観測した上で測定した STS スペクトルの場所依存性を示す．STS スペク

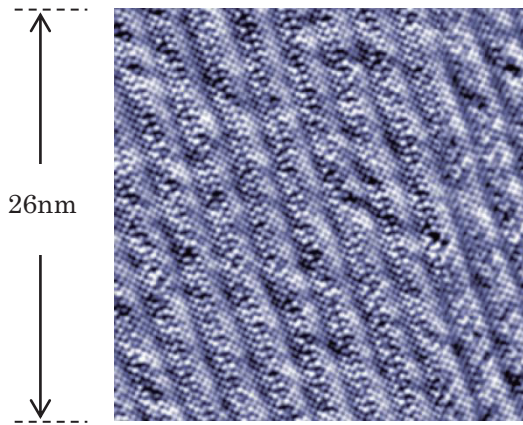


図4 Bi2212 の原子像 (小さな白丸が Bi 原子)

トルはナノスケールで大きく変化しているが、図5の上部のスペクトルに見られるようなギャップ端にシャープなピークを持つV字型のギャップが典型的な d 波の超伝導ギャップである。ピーク位置のバイアス電圧が超伝導ギャップの大きさ Δ_0 に対応する。図より Δ_0 は場所により大きく変化し、超伝導が非常に不均一なことが分かる。特に、図5の下部では広いエネルギー範囲にわたりスペクトルが大きく抑制されるような STS スペクトル (Zero Temperature Pseudo Gap, ZTPG) が多く見られる。

高ホール濃度の Bi2212 試料の STS スペクトルでは、ZTPG 的なスペクトルは少なくなり、ギャップ端のピークがシャープなスペクトルの割合が増す。このようなホール濃度による変化は、低ホール濃度の試料では高ホール濃度の試料より擬ギャップが顕著に発達するためと考えられる。

3.4 超伝導の不均一性とホール濃度

磁場中比熱、電子ラマン分光の結果は高ホール濃度試料でもアンチノードにおいてギャップが単純な d 波ギャップの場合よりも大きいことを意味する。しかし、ラマン分光と比熱から求めたギャップの差は小さいため、擬ギャップの発達の程度は弱いと考えられる。一方、STM/STS の結果は、 T_c が最も高い最適ホール濃度やそれより低ホール濃度の試料では擬ギャップの発達が顕著で超伝導ギャップがかなり不均一であることを意味する。

ところで、最初に述べたように $T \ll T_c$ における超伝導状態では、超伝導ギャップの発達によりフェルミ面が消失し、電子による熱伝導性が失われる。しかし、擬ギャップが発達し超伝導ギャップ

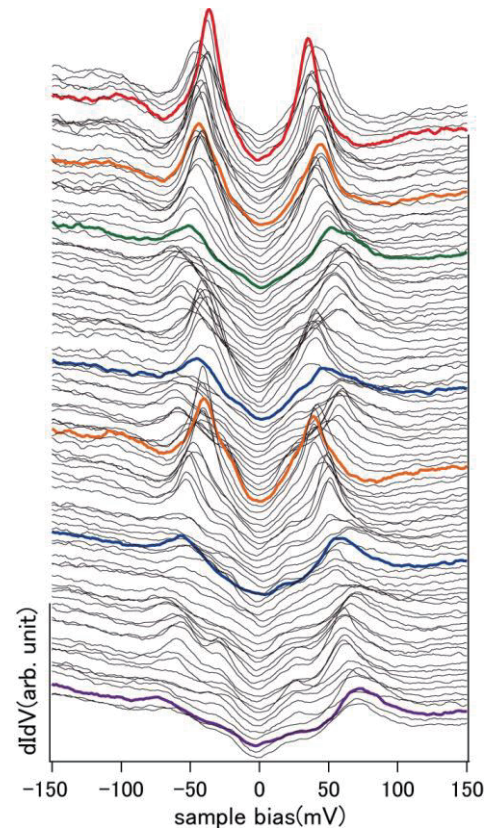


図5 Bi2212 における STS スペクトルの場所依存性

が不均一になり、場所により超伝導性が悪くなると、そこではフェルミ面の状態密度が増加し、電子系による熱伝導性が回復すると考えられる。超伝導体をパッシブ型のペルチェ素子材料として応用するためには、均一な超伝導により熱伝導が大きく抑制されていることが重要である。したがって、今回の結果から、ペルチェ素子材料として最適なのは、 T_c が最も高い最適ホール濃度の試料ではなく、 T_c は下がるがホール濃度がより高い試料であると考えられる。一方で、ペルチェ素子を液体窒素温度付近から使うことを考慮すると、液体窒素温度 (77 K) より高温の T_c を有する必要がある。従って、Bi2212 系試料では、 T_c が最も高い 95 K と窒素温度 77 K の中間程度となる若干高ホール濃度の超伝導体試料がペルチェ素子材料として最適と考えられる。

今後は、この若干高ホール濃度の Bi2212 試料を Bi-Sb 合金と組み合わせてペルチェ素子を作製し、液体窒素温度からどの程度まで温度が下がるかを調べる予定である。また、 T_c が Bi2212 系よりも高い他の系の銅酸化物高温超伝導体との組合せについても調べていく予定である。

参考文献

- (1) N. Momono, S. Kuribayashi, Y. Amakai, S. Murayama, S. Torii, and H. Takano, Stripe order and superconductivity in the mechanically milled $\text{La}_{1.6-x}\text{Nd}_{0.4}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$, J. Phys. Conf. Ser. **400** (2012) 022077 (4 pages).
- (2) T. Kurosawa, N. Momono, M. Oda, and M. Ido, Ni-impurity effects on the superconducting gap of $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ studied from the magnetic field and temperature dependence of the electronic specific heat, Phys. Rev. B **85** (2012) 134522 (4 pages).
- (3) J. Chang, J. S. White, M. Laver, C. J. Bowell, S. P. Brown, A. T. Holmes, L. Maechler, S. Strässle, R. Gilardi, S. Gerber, T. Kurosawa, N. Momono, M. Oda, M. Ido, O. J. Lipscombe, S. M. Hayden, C. D. Dewhurst, R. Vavrin, J. Gavilano, J. Kohlbrecher, E. M. Forgan, and J. Mesot, Spin density wave induced disordering of the vortex lattice in superconducting $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$, Phys. Rev. B **85** (2012) 134520 (4 pages).

高性能磁気熱変換材料の開発を目指して

戎 修二^{*1,*2}, 阿波加 淳司^{*2}, 藤 耕一郎^{*3}

Aiming for High Performance Magnetocaloric Materials

Shuji EBISU^{*1,*2}, Junji AWAKA^{*2}, and Koichiro FUJI^{*3}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

Specific heat measurements on single crystals of rare-earth sesquisulfide α - R_2S_3 ($R = \text{Pr, Nd, Sm, Gd, Tb and Dy}$) have been performed under applied magnetic fields in the range between 0 and 5 T. Any compound shows one or two peak(s) at magnetic transition temperature(s) in the temperature dependence of the specific heat. The values of the specific heat below the temperature of 10 K for α -Gd $_2$ S $_3$ are considerably larger than those for other α - R_2S_3 and comparable to those for other cold storage materials. Application of magnetic field perpendicular to the b -axis of α -Dy $_2$ S $_3$ single crystal shifts the antiferromagnetic transition temperature T_{N1} toward higher temperature and decreases magnetic entropy. In this case, adiabatic demagnetization after isothermal magnetization at 12 K with a magnetic field of 5 T yields a magnetic refrigeration effect of $\Delta T_{ad} = -5.8$ K.

Keywords : Rare-earth sesquisulfide, Magnetocaloric effect, Magnetic refrigeration, Cold storage material, Specific heat

1 はじめに

室蘭工業大学第 2 期中期目標期間における重点研究プロジェクト：「希土類に関連した再生可能エネルギー材料科学およびサステナブル材料開発」（略称：希土類プロジェクト）が平成 22 年に発足し、当初立ち上がった 3 タスク研究のうちの 1 つが、「高性能磁気熱変換材料の開発」タスクである。

よく知られる磁性材料の応用は、磁場による応答である磁化を利用するものや、電気と磁気の相互作用を利用するものが大半である。一方で、外部磁場は磁性体内部の磁気モーメントに作用し、磁気エントロピー変化を介して熱の移動とも関連する。このように磁気と熱量が結合する現象を磁気熱量効果 (MCE; Magnetocaloric Effect) という。

磁場は磁化とエネルギー的に共役の関係にあり、これは熱力学的に気体の圧力・体積の関係と同等である。したがって、一般の冷凍機が気体の圧縮・膨張により冷却効果を得るのに対応して、ある種の磁性体に磁場を励磁・消磁することにより冷却することが可能であり、これを磁気冷凍 (Magnetic Refrigeration) という。また、MCE により一般的に磁性体は磁気相転移点 (温度) において比熱が先鋭な極大を示すので、磁気相転移点を跨ぐ温度上昇をもたらすためには非常に大きな熱量が必要となる。この効果が大きい物質は“冷”を蓄える蓄冷材として利用でき、冷凍機に充填する等して冷却効率を向上させることができる。本タスク研究では磁気冷凍材や蓄冷材の開発を指向している。

2 背景と研究指針

蓄冷材としては、磁気転移等の相転移に伴って大きな比熱ピークを生じるものが適しており、大

*1 室蘭工業大学 しくみ情報系領域

*2 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター

*3 室蘭工業大学 応用理化学系専攻

きな全角運動量量子数をもつ重希土類元素を含む物質が候補となり得る。10 K 程度で磁気相転移をもつ α 変態希土類三硫化物 α - R_2S_3 (R : 希土類元素)や希土類ホウ化物に着目し、系統的な比熱測定を行った。

磁気冷凍材に関しては動作温度を考慮することが重要であり、本タスクメンバーがもつシーズを踏まえ、(1)室温域、(2)液体窒素温度域、(3)10 K 温度域での検討を行った。

(1)室温域：室温域における磁気冷凍機は、フロンガスによるオゾン層の破壊、代替フロンガスによる地球温暖化の促進を阻むものとして期待されている。この温度域においては、室温付近に強磁性転移温度(キュリー点) T_C をもつ希土類元素 Gd が初期の頃より注目されて実機でも評価され、室温磁気冷凍システムの発展に大きな役割を担ってきた。高効率・高性能化のために種々の Gd 化合物、例えば $Gd_5Si_2Ge_2$ ⁽¹⁾⁽²⁾や、非磁性の希土類元素 La を含む $La(Fe_{1-x}Si_x)_{13}H_y$ ⁽³⁾⁽⁴⁾あるいは希土類元素を含まない $Mn(As_{1-x}Sb_x)$ ⁽⁵⁾や $MnFe(P_{1-x}As_x)$ ⁽⁶⁾などが注目を集めて盛んに研究され、実用化に近づいている。希土類元素を用いずとも、一次相転移の大きなエントロピー変化を利用すれば高性能の冷凍機を実現できる可能性が示され、現在の一つの潮流となりつつある。後発の本タスクでは、現有のシーズである室温域で異常に大きな熱膨張率(比熱と密接に関連する物理量)を示す希土類元素 Ce を含む構造不規則系合金⁽⁷⁾⁽⁹⁾の基礎研究を進めた。

(2)液体窒素温度域：銅酸化物高温超伝導体を用いた種々のデバイスが利用されてきているが、この安定動作のためには液体窒素温度(窒素の沸点: 77 K)より数十 K 低い温度が必要であり、これを実現する低コスト・低振動・低騒音の小型磁気冷凍機が望まれる。その形成パターンからストライプ秩序と呼ばれる電荷秩序を超伝導転移に伴って起こす銅酸化物高温超伝導体に関する研究シーズ⁽¹⁰⁾があり、この転移に伴うエントロピー変化を含めた基礎研究に取り組んだ。

(3)10 K 温度域：クリーンエネルギーとして期待される水素燃料を貯蔵・輸送するためには水素を液化するのが効率的であり、10 K 程度の温度を実現する必要がある。液体ヘリウムを使用すれば、浸漬するだけでヘリウムの沸点 4.2 K 近くまで冷却することが可能であるが、ヘリウムは希少資源であり、社会情勢によっては確保がきわめて困難にもなり得る。このため、ヘリウムフリーで同等

の温度を得る小型・低コスト・低振動・低騒音の磁気冷凍機の開発が期待されている。これまで著者は前述の α - R_2S_3 が 10 K 付近の温度で逐次磁気相転移を起こし、それに伴って種々の特異な物性応答を示すことを見出してきた⁽¹¹⁾⁻⁽¹⁸⁾。この研究シーズを活かし、 α - R_2S_3 の磁気冷凍材としての可能性を探った。

α - R_2S_3 は斜方晶系結晶構造(空間群: $Pnma$)中に結晶学的に独立な二つの希土類サイト ($R1, R2$) を有している⁽¹¹⁾。これまでに得られた実験事実を総括すると、 $R1$ は b 軸方向一次元鎖内で強磁性的、 a 軸方向ジグザグ鎖内で反強磁性的に秩序化する傾向が強く、 $R1$ と弱く結合した $R2$ は距離的にはやや遠い隣接 $R2$ と複雑に作用し合うと考察される。この $R1$ - $R2$, $R2$ - $R2$ 間の複雑な磁氣的相互作用が競合し、温度や磁場に対してマクロ物性が特異な応答を示すと考えられる。本報告では、 α - R_2S_3 の無磁場下および磁場中での比熱の測定結果と蓄冷材・磁気冷凍材としての可能性について議論する。

3 実験

市販の希土類酸化物を CS_2 気流中で加熱することで α - R_2S_3 粉末試料を得、これを原料としてヨウ素を輸送剤とした気相化学輸送法により単結晶試料を育成した。比熱は米国 Quantum Design 社製物理特性測定システム PPMS を使用し、5 T までの種々の磁場中で緩和法により測定した。

4 結果と考察

4.1 無磁場下比熱

図 1 に α - R_2S_3 (R : Pr, Nd, Sm, Gd, Tb, Dy) 単結晶の無磁場下での比熱の温度依存性を示す。Gd, Pr 系以外の α - R_2S_3 では 2 段の磁気相転移に伴う先鋭なピークが確認される。Tb, Dy 系に関しては磁化測定⁽¹²⁾⁽¹⁴⁾や中性子回折実験⁽¹⁹⁾の結果から、2 段の反強磁性転移が起きていると考えられる。Nd 系の少なくとも高温側ピークはやはり反強磁性転移によるものである。これに対して Sm 系での転移は 2 段の(弱)強磁性転移であると考えられる⁽¹⁶⁾。Pr 系では最低温の 0.36 K まで第二のピークは確認されないものの、低温での明らかな比熱の上昇から逐次的相転移があると考えられる。 α - Tb_2S_3 での磁気構造解析結果⁽¹⁹⁾と他の実験事実から、これらの高温側転移では $R1$ 、低温側転移では $R2$ が秩序化す

ると類推される。一方で中性子回折実験⁽²⁰⁾やエントロピー変化⁽²¹⁾から確認されるように、 α -Gd₂S₃は1段の転移で Gd1, Gd2 が反強磁性秩序化する。

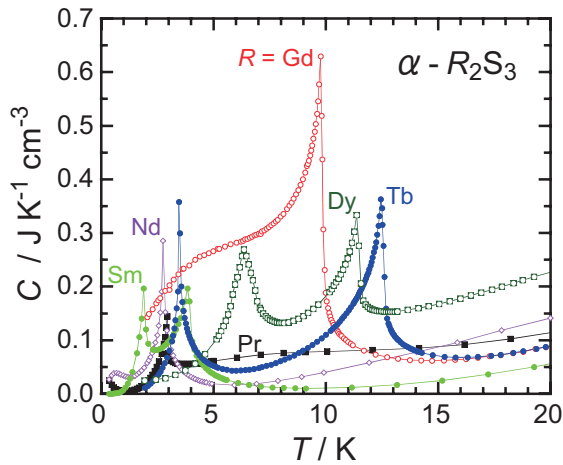


図1 α -R₂S₃ 単結晶の比熱の温度依存性

図1から明らかなように、 α -Gd₂S₃の比熱ピークは他を圧倒して大きい。多重項基底状態において Gd³⁺の全角運動量 J は $7/2$ と比較的大きいが、Tb³⁺ ($J=6$)や Dy³⁺ ($J=15/2$)の方がさらに大きい。しかし、Gd系以外の J 多重項は結晶場によってエネルギー準位分裂し、基底項の多重度は低くなる。一方 Gd系では軌道角運動量が 0 であるために結晶場の影響を受けず、基底がスピン 8 重項であることに起因して比熱ピークが大きくなっている。さらに Gd系では転移より低温で比熱が肩をもっている。これは幾何学的フラストレーションを有する Gd2の秩序化が Gd1の自発秩序による分子場の影響で、温度低下に伴って徐々に進行していることに起因していると考えられる⁽²¹⁾。このため、 α -Gd₂S₃は広い温度範囲で大きな比熱をもつ。単位体積あたりの比熱の最大値 $0.63 \text{ J K}^{-1} \text{ cm}^{-3}$ ($T=9.8 \text{ K}$)は蓄冷材として期待されている Gd₂O₂S (GOS)の $1.1 \text{ J K}^{-1} \text{ cm}^{-3}$ ($T=5.2 \text{ K}$)よりも低い、実用化されている Er₃Ni や HoCu₂ を凌駕している。HoCu₂がダブルピークでよい性能を示す温度域では値が下回るが α -Gd₂S₃の幅広の肩は良い特徴である。また、より大きな比熱ピークをもつ強磁性体 Er₃Ni ではなく Er₃Niが実用化されている理由は後者が反強磁性体であり超伝導マグネットからの漏れ磁場の影響を受けにくいためであるが、その点でも反強磁性体 α -Gd₂S₃は適している。大きな比熱を示す温度域が異なる蓄冷材を組み合わせることで冷凍機等に充填することにより高効率化が図れるため、ダブルピーク

を示す他の α -R₂S₃ も含め、比熱特性的には蓄冷材としての可能性はある。しかし実材料としては、球状多結晶試料の作成可能性、その場合の比熱特性や熱伝導率、熱サイクルを含めた耐環境性、コスト等の検討すべき課題は数多く存在する。

4.2 磁場中比熱

図2に α -Dy₂S₃の b 軸に対して垂直に磁場を印加した場合の(a)磁気比熱 C_m および(b)磁気エントロピー S_m の温度依存性を示す。高温側転移点 T_{N1} が磁場印加により顕著に高温側にシフトし、低温側転移が消失している様子が見られる。強磁性転移が磁場印加により高温側にシフトすることはよく見られることで、この傾向は磁気冷凍にとっては都合が良い。しかし、反強磁性転移は磁場印加により低温側にシフトするのが一般的である。現に他の α -R₂S₃ では磁場の印加方向によらず転移の低温シフトが観測されるし、 α -Dy₂S₃の b 軸に平行な磁場印加でも同様の傾向が見られる。 α -Dy₂S₃は逐次反強磁性転移点の間 T_{N1} - T_{N2} で種々の特異な現象を示す⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾が、 b 軸に垂直な磁場に対する応答が鋭敏であることもその一つである。Dy1が反強磁性秩序化することにより、Dy2の磁場に対する応答性がよくなり、磁場によるゼーマンエネルギー低下があるために、 T_{N1} が高温シフトすると考えられる。

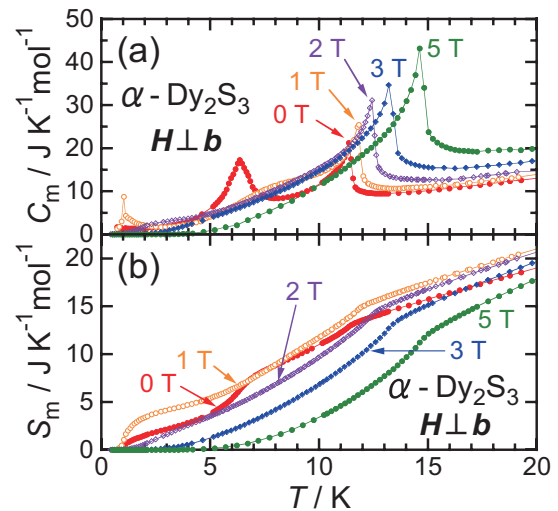


図2 α -R₂S₃ 単結晶の磁場中での(a)磁気比熱と (b)磁気エントロピーの温度依存性

T_{N1} の高温シフトと低温側 T_{N2} での転移の消失がともに効いて、図2(b)に示すように C_m/T を測定最低温度 0.4 K から温度で積分した磁気エントロピーは磁場印加により減少している ($|\Delta S_m| < 0$)。励磁に永久磁石の利用を想定した磁場 2 T での $|\Delta S_m|$

は小さいが、超伝導マグネットの利用を想定した 5 T では大きな $|\Delta S_m|$ が確認される。12 K の等温状態で 5 T の磁場を印加し、断熱状態で消磁した場合の温度減少は、図 2(b) から $\Delta T_{ad} = -5.8$ K と見積もられる。磁気冷凍材として接する物質から熱を奪うためには、単位体積あたりのエントロピー減少が大きい必要があるが、本系は Dy_2S_3 という化学式からわかるように希土類密度が低い分不利である。しかし、 α - R_2S_3 の外場に対する特異な物性応答を利用し、磁気熱量効果を制御し得れば、外場制御という付加価値をもった磁気冷凍材が実現し得るのではないかという観点で基礎物性研究を進めている。

5 まとめ

希土類硫化物 α - R_2S_3 単結晶の無磁場下および磁場中比熱を測定し、 α - Gd_2S_3 の蓄冷材としての可能性、 α - Dy_2S_3 の磁気冷凍材としての可能性を見出した。しかし実材料としての優位性については、多くの検討すべき課題が残されている。 α - R_2S_3 の磁気熱量効果を外場制御する可能性についても、今後さらに検討していく。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 23540384 の助成を受けてなされました。

参考文献

- (1) V. K. Pecharsky and K. A. Gschneidner, Jr., Giant Magnetocaloric Effect in $Gd_5(Si_2Ge_2)$, *Phys. Rev. Lett.*, **76** (1997) p4494-4497.
- (2) V. K. Pecharsky and K. A. Gschneidner, Jr., Tunable magnetic regenerator alloys with a giant magnetocaloric effect for magnetic refrigeration from ~20 to ~290 K, *Appl. Phys. Lett.*, **70** (1997) p3299-3301.
- (3) A. Fujita, S. Fujieda, Y. Hasegawa, and K. Fukamichi, Itinerant-electron metamagnetic transition and large magnetocaloric effects in $La(Fe_xSi_{1-x})_{13}$ compounds and their hydrides, *Phys. Rev. B*, **67** (2003) 104416(12 pages).
- (4) A. Fujita, S. Fujieda, K. Fukamichi, Y. Yamazaki, and Y. Iijima, Giant Magnetic Entropy Change in Hydrogenated $La(Fe_{0.88}Si_{0.12})_{13}H_y$ Compounds, *Mater. Trans.*, **43** (2002) p653-655.
- (5) H. Wada, and Y. Tanabe, Giant magnetocaloric effect of $MnAs_{1-x}Sb_x$, *Appl. Phys. Lett.*, **79** (2001) p3302- 3304.
- (6) O. Tegus, E. Brück, K. H. J. Buschow, and F. R. de Boer, Transition-metal-based magnetic refrigerants for room-temperature applications, *Nature*, **415** (2002) p150- 152.
- (7) S. Kikegawa, T. Matsumura, S. Murayama, H. Takano, and Y. Obi, Magnetic properties of amorphous $Mn_{100-x}Ce_x$ alloys, *Physica B*, **329-333** (2003) p1074-1076.
- (8) S. Kikegawa, Y. Amakai, K. Asano, S. Murayama, H. Takano, and Y. Obi, Specific heat of amorphous $Mn_{100-x}Ce_x$ alloys, *J. Magn. Mag. Mater.*, **272-276** (2004) p72-74.
- (9) Y. Amakai, S. Murayama, Y. Obi, H. Takano, N. Momono, and K. Takanashi, Thermal expansion of structure-disordered heavy-fermion Ce alloys, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **80** (2011) SA057 (3 pages).
- (10) N. Momono, S. Kuribayashi, Y. Amakai, S. Murayama, S. Torii, and H. Takano, Stripe order and superconductivity in the mechanically milled $La_{1.6-x}Nd_{0.4}Sr_xCuO_4$, *J. Phys.: Conf. Ser.*, **400** (2012) 022077 (4 pages).
- (11) S. Ebisu, Y. Iijima, T. Iwasa, and S. Nagata, Antiferromagnetic transition and electrical conductivity in α - Gd_2S_3 , *J. Phys. Chem. Solids*, **65** (2004) p1113-1120.
- (12) S. Ebisu, M. Gorai, K. Maekawa, and S. Nagata, Highly Anisotropic Properties of Antiferromagnetic α - Tb_2S_3 Single Crystal, *AIP Conf. Proc.*, **850** (2006), p1237-1238.
- (13) S. Ebisu, M. Narumi, and S. Nagata, Anomalous enlargement of electrical resistivity between successive magnetic transitions in α - Dy_2S_3 , *J. Phys. Soc. Jpn.*, **75** (2006) 085002 (2 pages).
- (14) S. Ebisu, M. Narumi, M. Gorai, S. Nagata, Successive magnetic phase transitions in α - Dy_2S_3 single crystal, *J. Magn. Magn. Mater.*, **310** (2007) p1741-1743.
- (15) S. Ebisu, K. Koyama, H. Omote, and S. Nagata, High field magnetization processes in single crystals of α - Tb_2S_3 and α - Dy_2S_3 , *J. Phys.: Conf. Ser.*, **150** (2009) 042027(4 pages).
- (16) S. Ebisu, H. Omote, and S. Nagata, Drastic change of the electrical resistivity related to the novel magnetic phase transition in α - Sm_2S_3 , *J. Phys.: Conf. Ser.*, **200** (2010) 092005(4 pages).
- (17) S. Ebisu, K. Koyama, T. Horikoshi, M. Kokita and S. Nagata, Extremely broad hysteresis in the magnetization process of α - Dy_2S_3 single crystal induced by high field cooling, *J. Phys.: Conf. Ser.*, **400** (2012), 032010 (4 pages).
- (18) S. Ebisu, Y. Ushiki, and S. Takahashi, Specific-heat Study on Successive Magnetic Transitions in α - Dy_2S_3 Single Crystals under Magnetic Fields, *J. Kor. Phys. Soc.*, **63** (2013) p571-574.
- (19) M. Matsuda, K. Kakurai, S. Ebisu, and S. Nagata, Successive Magnetic Phase Transitions in α - Tb_2S_3 Studied by Neutron Diffraction Technique, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **75** (2006) 074710 (4 pages).
- (20) M. Matsuda, A. Kikkawa, K. Katsumata, S. Ebisu, and S. Nagata, Neutron Diffraction Study of α - Gd_2S_3 , *J. Phys. Soc. Jpn.*, **74** (2005) p1412-1415.
- (21) A. Kikkawa, K. Katsumata, S. Ebisu, and S. Nagata, Phase transition of a frustrated α - Gd_2S_3 , *J. Phys. Soc. Jpn.*, **73** (2004) p2955-2958.

構造依存希土類合金の開発と磁気熱量・熱弾性材料への展開

雨海 有佑^{*1, *2}, 塩尻 泰広^{*3}, 鈴木 拓也^{*3}, 石原 圭^{*3}, 村山 茂幸^{*1, *2}

Development of Magnetocaloric and Thermoelastic Materials in Structure-dependent Rare-earth Alloys

Yusuke AMAKAI^{*1, *2}, Yasuhiro SHIOJIRI^{*3}, Takuya SUZUKI^{*3}Kei ISHIHARA^{*3}, and Shigeyuki MURAYAMA^{*1, *2}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

This study aims to develop next-generation high-performance materials with utilizing the strongly correlated electronic properties in amorphous Ce-alloys. We have focused amorphous Ce-Mn alloys consisting of the rare-earth metal cerium and the transition metal manganese. We have measured the magnetostriction for amorphous Ce-Mn alloys where a large thermal expansion and anomalous temperature dependence observed. The thermal expansion of the low temperature for amorphous Ce-Mn alloys has been found to be controlled by a magnetic field. In the future, we aim at development of the drive actuator element under the control of the temperature and magnetic field.

Keywords : Strongly correlated electron, Amorphous alloys, Thermal expansion, Magnetostriction

1 はじめに

希土類元素を含む金属間化合物や合金は、希土類の電子が特定の軌道(4f 軌道)に束縛されるため局在性が強く、電子同士のクーロン相互作用が無視できないため、強い電子相関(強相関電子状態)を実現する。この強相関電子状態は、巨大熱容量・奇妙な磁気相転移・巨大磁気抵抗・異常熱膨張・熱電変換特性・非従来型超伝導など多彩で魅力的な物性を示すことが知られている。これらの特性は、結晶構造や外場(磁場・温度・圧力・電場等)によって大きく特性を変化させる。従って希土類を含む金属間化合物や合金は、ちょっとしたチューニングによって有望な次世代の高機能材料として有力な可能性を秘めている。

我々は、主に希土類元素のセリウム(Ce)を含む、単結晶から構造不規則(アモルファス)などの様々な構造を持つ希土類化合物および合金の開発と電子物性について研究を行ってきた。これまでの成果から、強相関電子が関与した様々な電気伝導性や熱特性を見出してきたが、特に、アモルファス(a-)Ce 合金に関して、不規則な構造においても強相関電子状態が実現することを初めて見出した。そこで、特にアモルファス合金を研究対象として、物質開発を行い新たな機能性材料としての可能性を探った。アモルファス合金の研究の利点は、①結晶化合物として存在しない元素構成の合金作製が可能、②任意の組成比で制御した試料作製が可能、③磁気異方性がないなどの特長を持つため、物質開発の自由度が非常に高い。さらに、マクロに均質な特性が得られることから、材料物性の観点からも有利であると言える。そこで本タスクフォース研究では、希土類元素の Ce を中心としたアモルファスなどの様々な構造を持つ金属間

*1 室蘭工業大学 しくみ情報系領域

*2 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター

*3 室蘭工業大学 応用理化学系専攻

化合物や合金を作製し、基礎物性の評価から次世代の高機能希土類金属材料として特に、極低温から室温程度まで使用温度域を意識した材料への展開を目指すことを目的とした。

これまでに Ce と様々な元素を組み合わせたアモルファス Ce 合金がいくつか作製されているが、その中でも我々が世界で初めて作製した α -Ce_xMn_{100-x} 合金は、Ce と Mn の 2 元金属間化合物が存在しないため、アモルファス構造ゆえに存在可能な合金である。この α -Ce-Mn 合金の基礎物性測定を行った。その結果、 α -Ce-Mn 合金の Ce 低濃度側では、低温で Mn モーメントの凍結によるスピングラス相が出現した。Ce 濃度 x が増加すると、スピングラス転移温度が減少し $x = 60$ 付近で消失する。Ce 高濃度側では、Ce の 4f 電子と伝導電子の混成（近藤効果）を通し、巨大な熱容量を持つ重い電子状態が実現する。このように、組成の変化に伴って特性が連続的に変化することがわかった。⁽¹⁻⁴⁾ この合金において特に興味深い性質は、熱膨張である。 α -Ce-Mn 合金の熱膨張は、幅広い組成範囲・温度範囲で通常金属より巨大であり、特に組成が拮抗する $x = 50$ では、室温付近で銅の倍以上の熱膨張係数が観測されるとともに、低温で熱膨張係数が増大する奇妙な温度依存性が観測された。そこで、本タスクの研究課題としてまず、 α -Ce-Mn 合金の異常な熱膨張を解明し、アクチュエーター素子などの熱膨張を活かした材料開発に展開することを目指した。今回は、熱膨張と熱力学的に関連する比熱と、熱膨張に対する磁場の効果を紹介する。

2 実験

2.1 試料作製

試料は、DC 高速スパッタ法を用いて作製した。スパッタ法とは、半導体薄膜や金属薄膜の作製法のひとつとして良く知られた方法である。本研究で用いている DC 高速スパッタ法は、比較的大面積かつ厚い膜(mm オーダー)の金属試料作製が可能のため、一度の試料作製で様々な物性測定を行うことが出来る。DC 高速スパッタ法によるアモルファス合金の作製プロセスは、まず、低圧の Ar ガス雰囲気中のチャンバー内に、対向して配置されたフィラメント電極とアノード電極間に電圧をかけ、グロー放電によって Ar ガスを陽イオン化させる。その後、ターゲット電極に負の高電圧をかけることで、ターゲット電極上に配置されたターゲット

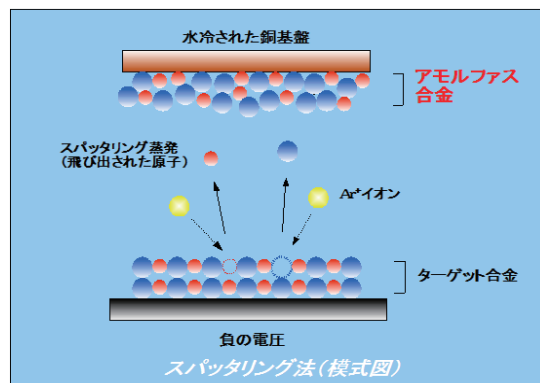


図1 スパッタ法の模式図

合金に Ar⁺イオンが衝突し、ターゲット合金表面の原子がはじき出される。はじき出された原子は、ターゲット合金直上にある水冷された銅基板に結晶化せず堆積するため、結晶構造を持たないアモルファス合金が得られる（図1）。

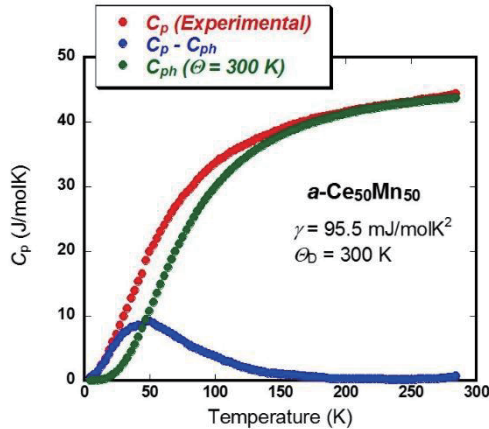
また、本研究では、スパッタに使用するターゲット合金をモノアーク溶解によって作製している。ターゲット合金を任意の組成比で作製することでおおよそ必要とする組成比のアモルファス合金を作製することができる。得られたアモルファス合金は、機械的研磨で銅基板を除去し、各種物性測定用にダイヤモンドカッターで成形した。

2.2 試料評価および物性測定

試料の構造は、X線回折測定によって確認した。組成は、ICP 発光分光分析法および SEM-EDS などを用いて確認した。

物性測定は、磁化率、電気抵抗、比熱、熱膨張および熱電能の温度依存性を中心に行い、その磁氣的性質、伝導特性、熱特性などから電子状態について考察した。

熱膨張の測定方法は、ストレーンゲージ法を用いた。ストレーンゲージ法とは、金属箔で出来た歪みゲージの電気抵抗の変化が歪みの量に比例することを利用した歪みの測定法である。以前までは、極低温冷凍装置を用いて、10 K から室温程度の温度範囲で無磁場の測定を行っていた。しかし、この方法の欠点として、低温域の温度不安定性から他の物性測定に対し高い温度での測定になっていたことと無磁場での測定しか出来ないことが挙げられる。そこで本研究では、温度と磁場のコントロールが簡便に行える本学所有の物理特性評価装置 PPMS（Quantum Design 社）を利用して、磁場中熱膨張測定システムを構築した。現在、5～300 K の温度範囲で温度一定の下、磁場を変化させた時

図2 $x = 50$ の比熱の温度依存性

の歪みの測定が可能な磁歪測定システムの構築に成功した。今回は、室温から低温まで巨大な熱膨張が観測される $x = 50$ の試料に対し磁歪測定を行った。測定温度は、5 K, 20 K, 50 K, 80 K, 100 K, 150 K, 200 K, 275 K, 300 K, 磁場を 0 ~ 60 kOe まで変化させて磁場方向に対する歪みの測定を行った。

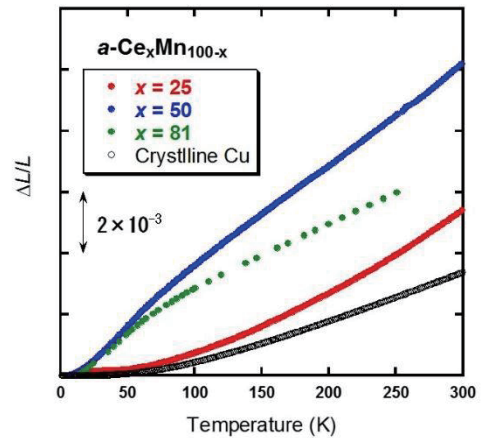
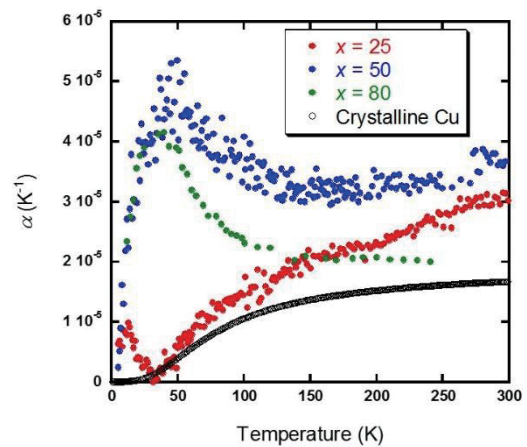
3 結果と考察

3.1 比熱

図2に $x = 50$ の比熱の温度依存性を示す。一般に磁性体の比熱は、格子比熱 C_{ph} と磁気比熱 C_{mag} と電子比熱 C_{el} の和で観測される。実験で得られたデータに対し、適当なデバイ温度を決め、デバイ関数によって C_{ph} の寄与を見積もった。デバイ温度は、 $x = 50$ で 300 K とした。さらに、得られた比熱から C_{ph} を引くことで磁気および電子の寄与を見積もった。高温側の比熱は、見積もった C_{ph} と実験値がほぼ一致することから、格子比熱の寄与のみで説明できるかもしれない。150 K 以下の低温で、磁気および電子比熱の寄与が現れ、40 ~ 50 K 付近に山を持つ。低温比熱より見積もられた電子比熱係数 γ は、 $x = 50$ で 95.5 mJ/molK^2 と通常金属に比べておよそ 100 倍大きい。

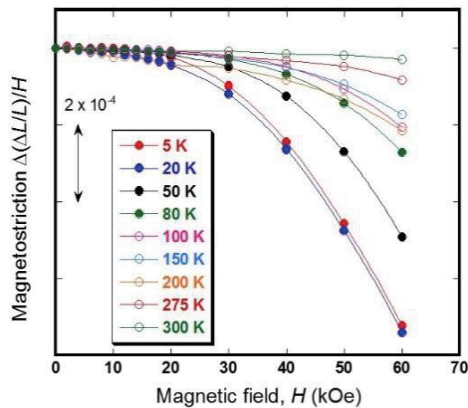
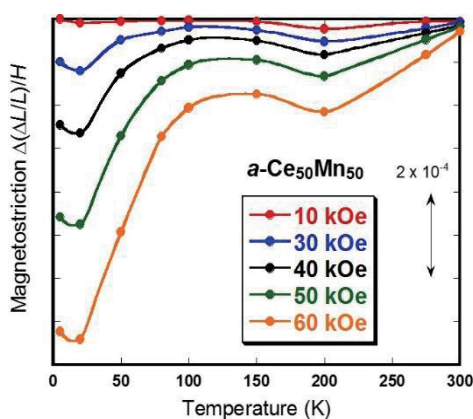
3.2 熱膨張

図3に $a\text{-Ce-Mn}$ 合金の線膨張 $\Delta L/L$ の温度依存性を示す。比較のため、Cu の線膨張の温度依存性も示す。 $\Delta L/L$ は、すべての組成において Cu と比較して大きい温度依存を示す。Ce 低濃度側で通常金属同様に温度の減少とともに下に凸の温度依存を示す。Ce 濃度 50 at% 以上では、100 K 付近まで線形的な減少を示し、その後上に凸の温度依存を示す。

図3 $a\text{-Ce-Mn}$ 合金の線膨張 $\Delta L/L$ の温度依存性図4 $a\text{-Ce-Mn}$ 合金の熱膨張係数 α の温度依存性

す。図4に $a\text{-Ce-Mn}$ 合金の熱膨張係数 α の温度依存性を示す。 α は、Ce 濃度 50 at% 以下の高温側で通常金属に比べ 2~3 倍もの値を示す。また、50 at% 以上では、幅広い温度領域で巨大な値を示す。100 K 以下の低温側では、温度の減少とともに大きな増大を示し、その後ピークを持って大きく減少する。低温の α の増大は、磁気比熱の増大とおおよそ一致している。この増大は、 $a\text{-(Ce,Y)-Mn}$ 合金の研究⁶⁾から、近藤効果によるものと考えられている。

図5に $a\text{-Ce-Mn}$ 合金の磁歪の磁場依存性を示す。すべての温度において、負の磁歪が観測された。これは磁場によって熱膨張が抑制されたことを示している。また、高温・低磁場では、磁場にほとんど依存しないが、低温・高磁場ほど大きな磁場依存性が観測された。図6に $a\text{-Ce-Mn}$ 合金の磁歪の温度依存性を示す。低磁場側では、ほとんど温度に依存しないのに対し、30 kOe 以上の磁場で、100 K 以下の低温で温度の減少とともに大きく減

図5 $x = 50$ の磁歪の磁場依存性図6 $x = 50$ の磁歪の温度依存性

少する。これは、近藤効果による熱膨張の増大が磁場によって抑制されたことを示唆する。従って、 α -Ce-Mn 合金の低温の熱膨張は、磁場によって伝導電子と $4f$ 電子の混成を制御し熱膨張をコントロールできることがわかった。しかし、高温側の巨大な熱膨張係数が変化したかどうかは今回の測定法および条件ではまだわからない。

4 まとめと今後の展望

本研究は、Ce を中心としたアモルファス合金における強相関電子物性を活かした次世代の高機能材料の開発を目指して、アモルファス構造ゆえに存在可能な α -Ce_xMn_{100-x} 合金の基礎物性測定と異常な熱膨張の解明を行うため、磁歪の測定を行った。組成が拮抗する $x = 50$ では、強相関電子状態（近藤効果）によって熱膨張係数が 100 K 以下の低温で温度の減少とともに増大することがわかった。また、磁場によって近藤効果が抑制され、負の磁

歪が観測された。従って、低温での熱膨張の増大は磁場によって制御できることがわかった。

今後は、磁歪だけでなく熱膨張の磁場中の温度依存性を測定するシステムを構築し、 α -Ce-Mn 合金の熱膨張の磁場の効果をさらに明らかにする。また、近藤効果の抑制によって熱膨張がコントロールされることから、 α -Ce-Mn 合金に対し元素置換によって電子状態を変化させ、熱膨張のコントロールを試みる。さらに、本研究における試料作製法を活かし、組成を傾斜化させた試料を作製し、温度・磁場のコントロールで駆動するアクチュエーター素子や熱膨張の違う材料の接合などに利用できる材料の開発を目指す。

謝辞

本研究は、JST 研究成果展開事業 研究成果最適展開支援プログラムフェーズビリティスタディ【F S】ステージ (A-STEP)、探索タイプ (番号 AS232Z02108C)「構造の乱れが生み出す高性能希土類材料の開発」(2011~2012) および、平成 22 年度室蘭工業大学 21 世紀科学研究費「構造不規則強相関希土類合金の異常熱弾性に関する研究」の助成を受けて行われた。

参考文献

- (1) S. Kikegawa, T. Matsumura, S. Murayama, H. Takano, and Y. Obi, Magnetic properties of amorphous Mn_{100-x}Ce_x alloys, *Physica B*, **329-333** (2003) p1074-1076.
- (2) S. Kikegawa, Y. Amakai, K. Asano, S. Murayama, and H. Takano, Y. Obi, Specific heat of amorphous Mn_{100-x}Ce_x alloys, *J. Magn. & Magn. Mater.* **272-276** (2004) p72-74.
- (3) Y. Amakai, S. Murayama, Y. Obi, H. Takano, and K. Takanashi, Evidence of a heavy fermion state in the disordered Ce-alloys system without translation symmetry, *Phys. Rev. B*, **79** (2009) 241526 (6 pages).
- (4) Y. Amakai, S. Murayama, Y. Obi, H. Takano, N. Momono, and K. Takanashi, Magnetic properties of structure-disordered heavy fermion Ce-Mn alloys, *J. Phys.: Conf. Ser.*, **200** (2010) 012006 (4 pages).
- (5) Y. Amakai, S. Murayama, Y. Obi, H. Takano, N. Momono, and K. Takanashi, Thermal expansion of structure-disordered heavy-fermion Ce alloys, *J. Phys. Soc. Jpn.*, **80** (2011) SA057 (3 pages).

鑄鉄・アルミニウム溶湯処理に及ぼすレアアースの効果

長船 康裕^{*1*2}, 田湯 善章^{*1*2}, 桃野 正^{*1*2}

Effect of Rear Earth Element on Melt Process for Cast Iron and Aluminum

Yasuhiro OSAFUNE^{*1*2}, Yoshinori TAYU^{*1*2}, and Tadashi MOMONO^{*1*2}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

In the manufacture of cast product, various melt processing is carried out between melting of iron and pouring molten metal into a mold. We have been researching on casting technology for high-quality for cast aluminum and cast iron. Information in this report is as follows : ①Effect of rear earth element on molten metal treatment of cast iron. ②Effect of CE value and chemical composition on chilling of tin wall cast iron. ③Holding of lecture on cast iron and rear earth element. ④Grain refinement of Al-Si alloy by electromagnetic stirring.

Keywords : Cast iron, Aluminum, Rear earth element, Casting technology, Inoculation, Thin wall casting, Electromagnetic stirring

1 はじめに

鑄造製品の製造において、溶解された溶湯は鑄型に注がれるまでに様々な溶湯処理が行われている。希土類プロジェクトのタスク研究で鑄鉄鑄物とアルミニウム鑄物を対象として高品位化のための溶湯処理を中心とした鑄造技術に関する研究を行っている。2012 年度の研究及び活動内容について紹介する。

2 研究及び活動内容

2.1 鑄鉄の溶湯処理に及ぼすレアアースの効果

銑鉄鑄物の生産量は約 360 万トン(2012 年)で、その 70%は自動車を中心とする輸送機械で利用されている¹⁾。銑鉄鑄物の鑄造においてレアアース元素(RE)が添加されることがあるが、その用途としては引け巣などの鑄造欠陥の防止、薄肉部分の脆化の抑制があげられる。2010 年の中国漁船の尖閣諸島領海侵犯を発端としたレアアースパニック

が発生し、日本国内ではレアアースを使用しない鑄造技術の研究が急務となった。しかし、現在では中国以外からの輸入も拡大し、鑄造で利用されている Ce や La などの軽希土類元素の供給は安定している。また、これら軽希土類元素は希少性の高い Nd や Sm などの重希土類元素の精製時の副産物である。そのため、軽希土類元素の供給量は重希土類元素に比べると多く、その効果的な利用方法が求められている。本研究では RE の積極的な活用と RE レス化技術の両面の研究を行っている。また、民間企業との連携や講演会の実施によって研究成果の社会還元に努めていることを目的とした。

2.1.1 球状黒鉛鑄鉄の溶湯処理における RE の効果と溶湯性状の判定技術の開発

球状黒鉛鑄鉄における溶湯処理時の RE 添加は共晶凝固時の晶出黒鉛粒の増加を促進し、引け巣の発生や薄肉部の脆化を抑制する目的で行われている。一般的に Fe-Mg-Ca-RE 合金が使用されている。その合金の RE にはミッシュメタル(Ce と La が主成分)が溶湯全量に対して 0.01~0.02mass%添加されている。本研究では Ce 及び La 単体の効果を

*1 室蘭工業大学 もの創造系領域

*2 室蘭工業大学 環境調和材料工学研究センター

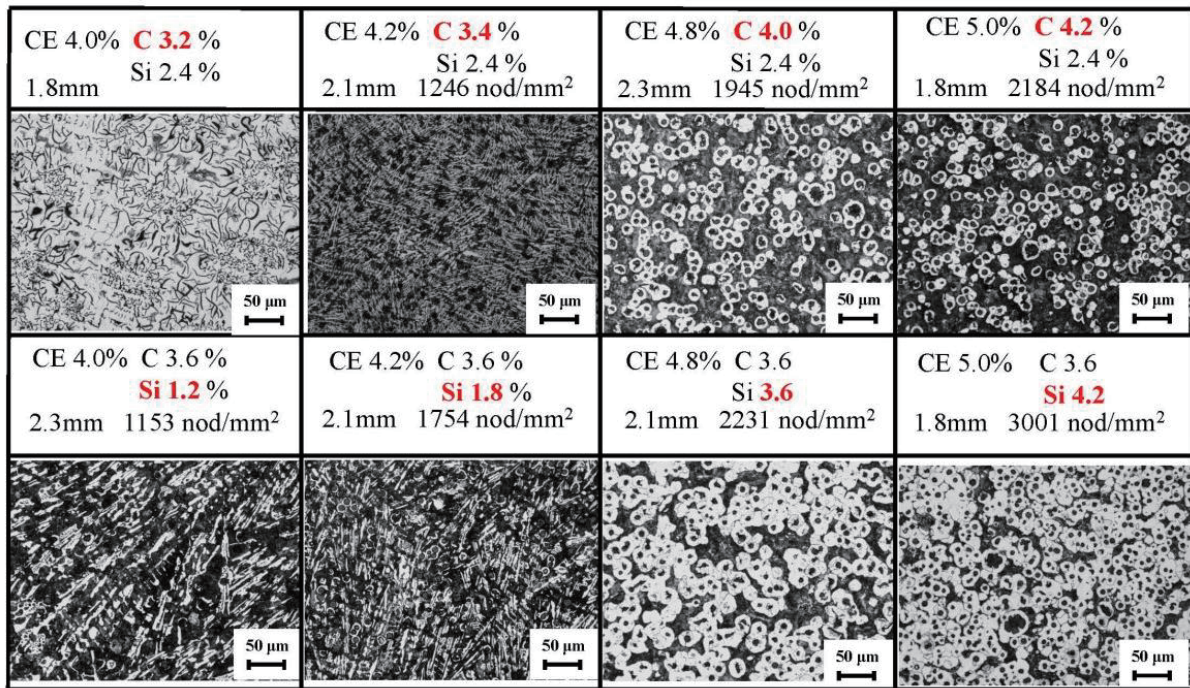


図1 薄板球状黒鉛鑄鉄の組織に及ぼすCE値とSi及びC含有量の影響

明らかにするために純度99.9%のREを溶湯処理で使用し、組織及び凝固過程に及ぼす影響について調査を進めている。

2.1.2 薄肉球状黒鉛鑄鉄のチル化に及ぼすCE値と化学組成の影響

球状黒鉛鑄鉄の薄肉鑄造におけるREレス化に関する研究で、薄肉部の急冷凝固によって炭化物が晶出(チル化)して脆化する。そのチル化を抑制し、薄肉鑄鉄を高靱性化することを目的としている。図1に2mmの薄板に鑄造した時の球状黒鉛鑄鉄の組織とCE値及びSi/C比の関係を示す。炭素当量($CE値 = C\% + 1/3Si\%$)を高くすることによってチル化を抑制することができた。また、同一炭素当量であってもSi含有比が高くなるほど晶出黒鉛粒数とフェライト析出量は増加した。薄板鑄鉄を高靱性化するためには共晶組成のCE値にする必要がある。また、シリコン含有量の増加は基地組織のフェライト化を促進した。

2.1.3 希土類プロジェクト講演会の開催

2012年12月7日(月)13:00~17:00に本学大学会館多目的ホールで「鑄造技術と希土類元素に関する研究最前線」をテーマとした講演会を開催した。北海道内の企業や公設試から多数の参加者があり活発な質疑応答がなされた。以下に講演の概

要を記す。

鑄鉄の鑄造における希土類元素の効果について世界的に著名な岩手大学の堀江皓特任教授から「鑄鉄における希土類元素の役割」について説明があった。特に薄肉鑄鉄の製作における希土類元素の黒鉛晶出のメカニズムと効果について解説された。つづいて、中国華中科技大学の蔡啓舟教授から「中国における大型肉厚鑄鉄鑄物の製造技術



図2 プロジェクト講演会

とレアアース」について講演がなされた。中国では基幹産業としての鋳造に関する研究・技術開発は産学で活発に行われており、日本では数少ない巨大鋳物への希土類元素の適用について紹介がなされた。鋳造技術の国際的な競争を勘案すると、さらなる希土類元素の利用技術の研究を進めていく必要が確認された。日下レアメタル研究所の鹿毛秀彦技術部長から「日本における鋳造産業とレアアース—添加剤の選択方法—」について講演がなされた。輸入国の立場から見た希土類元素の生産の現状と供給状況について説明があった。その後、適切な希土類元素の使用法の解説があった。最後に国内の鋳造工場で最大規模を誇るアイメタルテクノロジーの山田聡執行役員から「球状及びCV 黒鉛鋳鉄の製造に欠かせないレアアース」と題して自動車部品製造にかかわる希土類元素を用いた最新の鋳造技術の紹介がなされた。

2.2 アルミニウム鋳物の組織微細化技術

アルミニウム鋳物の諸特性は凝固時に形成される金属組織に大きな影響を受ける。特に結晶粒の微細化は降伏点を上昇に効果があり、製品の軽量化に貢献する。微細化の方法には急冷凝固、注湯温度の低温化、核生成促進物質の添加、凝固過程における攪拌などがある。本研究では Al-Si 合金の結晶粒微細化に及ぼすストロンチウム (Sr) の添加と電磁攪拌の効果について明らかにすることを目的とした。

2.2.1 電磁攪拌による結晶粒微細化の原理

アルミニウム合金溶湯に直流電流を印加した状態で外部磁場を付与すると、溶湯にローレンツ力による対流が発生する。このとき、せん断力が固-液共存状態の溶湯に作用し、凝固時に成長する樹枝状のアーム（デンドライト）を分断し等軸晶の核を形成する。この結晶の核の増加により結晶粒の微細化が促進すると予想される。

2.2.2 実験方法

供試材は Al-8mass%Si 合金に 0.08mass% の Sr を添加した Al-Si-Sr 合金である。この組成における固-液共存温度領域は約 577~605℃である。この合金を 200℃に予熱したリング用の鋳型に鋳造した。鋳造法案を図 3 に示す。この時の注湯温度は 760℃である。電磁攪拌の装置を図 4 に示す。ネオジウム磁石 (φ50 × 5mm) を鋳型に挟み込むようにセット

し、溶湯中に黒鉛電極を挿入して電流を 0~400A 印加した。磁場は S, N 両極中心で 1mT または 2mT とした。

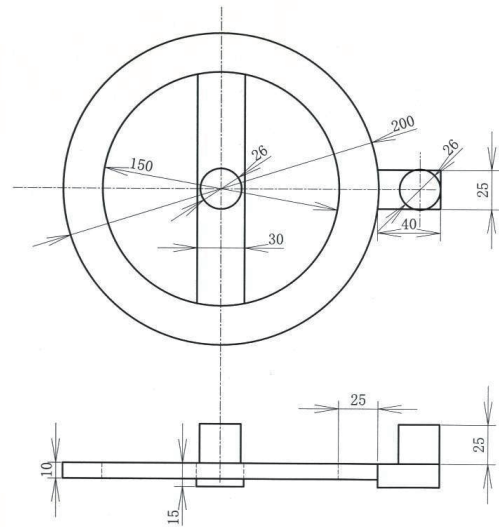


図 3 鋳造方案の形状

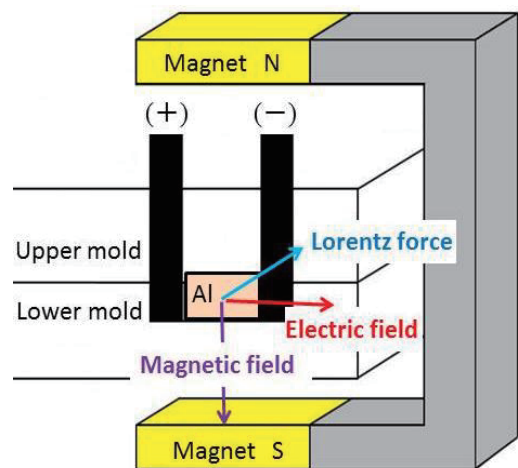


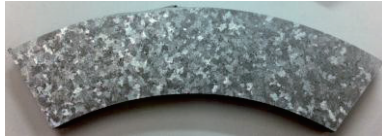
図 4 電磁攪拌装置の概略図

2.2.3 実験結果

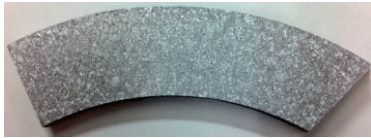
図 5 に電磁攪拌を行う溶湯温度範囲とマクロ組織の関係を示す。デンドライトアームが成長し始める液相線温度から液相がなくなる共晶温度まで攪拌を続けた条件で結晶粒が微細化した。電磁攪拌により得られた核の成長を抑制し微細化するためには凝固終了まで攪拌する必要があることが明らかとなった。

図 6 に印加電流と試験片断面のマクロ組織を示す。電磁攪拌時の電流が大きくなるほど結晶粒が微細化した。図 7 に印加電流とミクロ組織の関係

を示す。電磁攪拌なし（0A）では柱状デンドライト組織が発達していた。一方、電磁攪拌したものでは印加電流の増大に伴って方向性のない微細な等軸デンドライト組織に変化していた。また、印加磁場が大きくなるほど微細化が促進された。

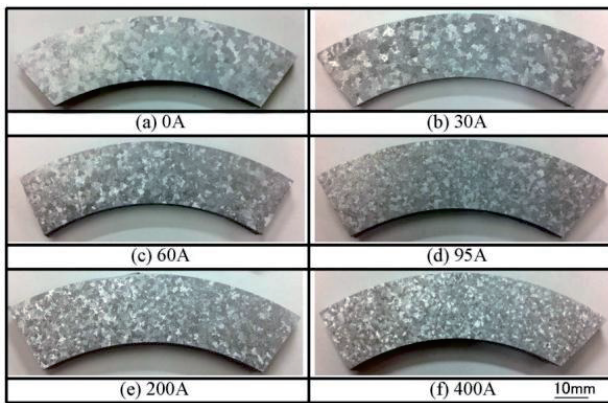


液相が存在する 600℃で攪拌停止



共晶温度以下まで攪拌

図 5 電磁攪拌温度範囲とマクロ組織の関係



2mT 95A

図 6 印加電流とマクロ組織の関係

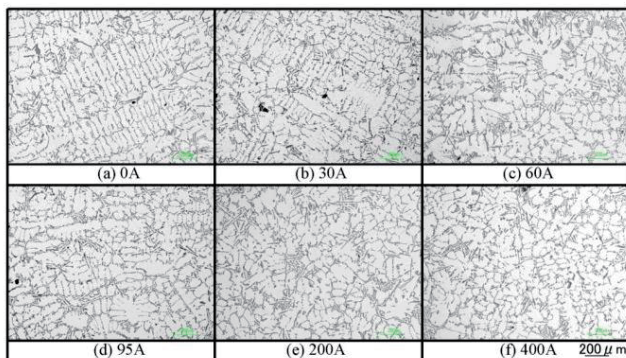


図 7 印加電流とマイクロ組織の関係

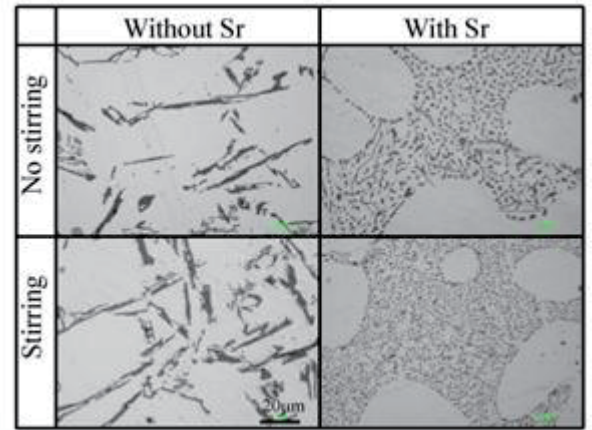


図 8 ミクロ組織に及ぼす Sr と電磁攪拌の影響

ミクロ組織に及ぼす Sr 添加の影響を図 7 に示す。電磁攪拌の有無にかかわらず, Sr の添加により微細化した。また, Sr を含有し電磁攪拌したものでは共晶凝固組織が微細化していた。Sr は共晶シリコン結晶の核生成の促進と共晶シリコン結晶粒の成長を抑制する。このことから Sr の添加によって共晶シリコンの微細化し, さらに電磁攪拌での微細化を促進すると考えられる。

2.2.4 まとめ

- (1) Al-8mass%Si 合金の溶湯を共晶温度以下まで電磁攪拌することにより結晶粒は微細化する。
- (2) 印加電流及び磁場の増大に伴い結晶粒が微細化する。
- (3) Sr の添加は共晶 Si を微細化し, 電磁攪拌の効果を促進させる。

参考文献

- (1) 鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計年報, 経済産業省, (2012) p239.

アルミニウム合金の拡散接合における 希土類元素添加の影響

田湯 善章 ^{*1, *2}

Effects of Rare Earth Elements on Diffusion Bonding of Aluminum Alloy

Yoshinori TAYU ^{*1, *2}

(原稿受付日 平成 25 年 9 月 30 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

In this report, we discussed the influence of rare-earth element on diffusion bonding of aluminum alloy to steel. The three types Al-RE alloys were made. In this alloy, rare-earth element silicide or rare-earth element calcium silicide precipitates were observed. But clear identification of the precipitates was not possible. In diffusion bonding of aluminum alloy to steel, two kinds of intermetallic compounds (FeAl_3 and Fe_2Al_5) layer were made near the bonded interface. The width of intermetallic compounds layer were increased in the case of Al-RE alloy. It is thought that rare-earth element or Si in aluminum alloy effect on increasing of intermetallic compounds layer's width.

Keywords : Rare-earth element, Aluminum alloy, Diffusion bonding

1 はじめに

アルミニウム合金は車両、船舶、建材、航空宇宙機、化学薬品タンクなど幅広い分野で応用されている。しかし、アルミニウム合金は空気中の酸素と反応し、表面に酸化皮膜を形成しやすい。この酸化物は熱力学的に非常に安定であり、かつ緻密であるため、アルミニウムの表面に酸化皮膜が存在すると拡散を阻害し拡散接合などの複合化が困難となる。

一方、アルミニウムにマグネシウムを適量添加することにより、アルミニウム表面に形成される酸化物の化学組成や形状が変化すると報告されている⁽¹⁾。また、一般に希土類元素は酸化しやすく、ろう接においてろう材に希土類元素を微量添加することによる接合性向上が試みられている⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。しかしながら、母材側へ希土類元素を添加することによる接合性へ

の影響については不明な点が多い。従って、接合過程におけるアルミニウム合金中の希土類元素の挙動を解明することにより、アルミニウム合金の接合性向上や接合プロセスの最適化などが期待できる。

そこで本研究では、希土類元素を微量添加したアルミニウム合金を溶製し、拡散接合を行うことにより希土類元素の影響を調査することを目的とした。

2 実験方法

2.1 Al-RE 合金の作製

純アルミニウム (99.87%Al) と、RE-Ca-Si 合金を原料として希土類元素濃度の異なる 3 種類の Al-RE 合金を作製した。RE-Ca-Si 合金は球状黒鉛鋳鉄を製造する際に用いられる添加剤として市販されており、純物質より安価である。RE-Ca-Si 合金と作製した Al-RE 合金の化学組成をそれぞれ表 1 と 2 に示す。Al-RE 合金の溶製は Ar ガス雰囲気中にて行い、純アルミニウムをアルミナるつぼ中 800℃で溶解した後

*1 室蘭工業大学 もの創造系領域

*2 室蘭工業大学 環境調和材料科学研究センター

RE-Ca-Si 合金を添加し、金型に注湯してインゴットを得た。

表 1 RE-Ca-Si 合金の組成

	Si	Ca	RE
RE-Ca-Si	46.4	8.6	31.7

(mass%)

表 2 Al-RE 合金の組成

No.	Al	Si	Ca	Ce	La
1	Bal.	0.09	0.05	0.02	0.01
2	Bal.	1.58	0.37	0.37	0.17
3	Bal.	3.19	0.89	0.85	0.41

(mass%)

2.2 Al-RE 合金の拡散接合

溶製したインゴットから旋盤加工により直径 10 mm の円柱を作製した。円柱の端面を接合面として 6 μ m のバフ研磨により鏡面仕上げし、エタノール中で 5 分間超音波洗浄した後、拡散接合に供した。拡散接合の相手材は一般構造用圧延鋼材 (SS400) とし、化学組成を表 3 に示した。SS400 接合面の仕上げは Al-RE 合金と同様とした。また、Si が接合性に与える影響を考慮し Al-1.5mass%Si と SS400 の接合継手も作製した。

Al-RE 合金と SS400 を突き合わせ、接合温度 600℃、接合圧力 1 MPa、接合時間 1.8 ks、 6.0×10^{-2} Pa の条件で拡散接合した。また、接合後、試料を接合温度と同温度で 7.2 ks 保持した後熱処理試料を作製した。

表 3 圧延用鋼材 SS400 の組成

	Fe	C	Si	Mn	P	S
SS400	Bal.	0.09	0.11	0.45	0.22	0.38

(mass%)

作製した Al-RE 合金および拡散接合試料に対して、光学顕微鏡による組織観察、X線回折による形成物質同定、EPMA による元素分布調査を行った。

3 実験結果

3.1 Al-RE 合金の評価

図 1 に溶製した各 Al-RE 合金の組織写真を示す。それぞれの合金には大きく分類して、微細な針状析出物と粗大な棒状・角状の析出物が確認され、RE の含有量が増加するにしたがい析出物のサイズは大

きくなった。

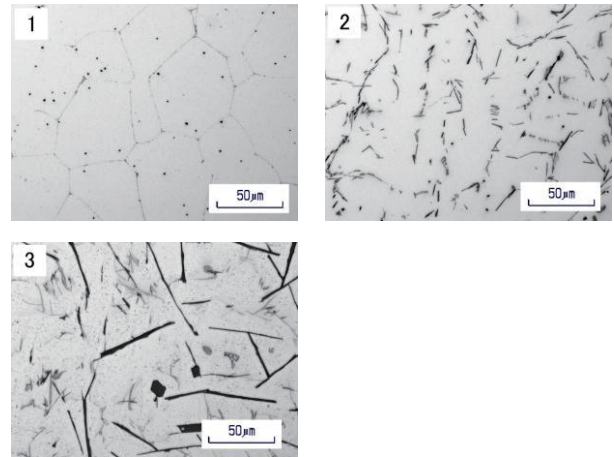


図 1 Al-RE 合金の微細構造観察結果

図 2 に Al-RE 合金 No.3 (0.85%Ce-0.41%La) の EPMA 面分析結果を示す。図 2 に酸素の元素分布は示していないが、すべての Al-RE 合金で酸素の濃化部は認められず、観察された析出物に酸化物は存在しなかった。これは、酸化物が Al-RE 合金を溶製した際に浮上・除去されるためと考えられる。また、一部に Fe の濃化が認められた。

析出物は主に Al, Si, Ca, Ce で形成されているが、粗大な棒状および角状の析出物では Ca 濃度が高く、細かな針状の析出物では Ce 濃度が高く Ca ほとんど存在していなかった。

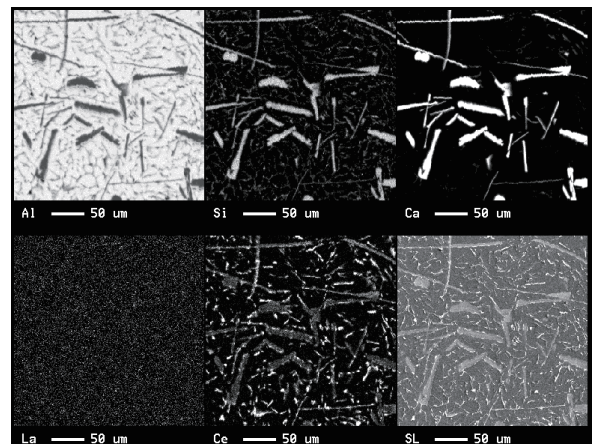


図 2 EPMA 観察結果 (No.3 合金)

二元系状態図⁶⁾において各元素の濃度比を考慮すると、Al, Si, Ca, Ce の組み合わせで存在する可能性がある化合物は $Al_{11}Ce_3$, Al_4Ca , Ca_2Si , $CaSi$, $CaSi_2$ であると考えられる。そこで、NaOH によって Al-RE

合金のアルミニウムを溶解し、残渣粉末のX線回折を行った。測定された回折ピーク（図3）から前述の二元系化合物は同定されず、比較的近いパターンを示した CaAlSi_2 や $\text{CaAl}_2\text{Si}_{1.5}$ についても不一致の部分があり、二元系、三元系の化合物が複数種存在していると考えられる。また、Al-Si-Ceの三元系状態図⁽⁶⁾から、本実験のAl-RE合金溶製温度における存在相は $(\text{Al})+(\text{Si})+\text{AlCeSi}_2$ であることから、 CaAlSi_2 のCaの一部がCeに置換された化合物が存在する可能性が考えられる。

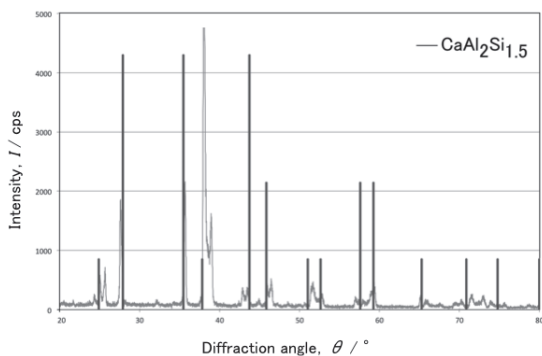


図3 NaOH 浸出残渣のXRD 回折パターン

3.2 Al-RE合金と鉄鋼材料の拡散接合

Al-RE合金 No.3 (0.85%Ce-0.41%La) / SS400 継手の接合界面近傍の光学顕微鏡写真を図4に示す。接合界面に金属間化合物と考えられる析出物層が生じ、後熱処理時間 7.2 ks では析出物層は 100 μm 程度まで成長し、Al-RE合金中の析出物は粗大化した。

Al-0.85%Ce-0.41%La / SS400（後熱処理 7.2 ks）と Al-1.5mass%Si / SS400（後熱処理 3.6 ks）の接合界面近傍の EPMA 分析結果を図5に示す。ただし、図5(a)には観察試料作製時に形成した割れが試料中央部に存在している。図5(a), (b)のいずれの場合も接合界面に Al-Fe 系金属間化合物の形成が確認された。化合物層内に Al および Fe 濃度の濃淡が認められ、化合物層には2相が共存していると考えられる。過去の報告⁽⁷⁾によるとアルミニウム合金と鋼の接合において Fe 側母材から順に Fe_2Al_5 , FeAl_3 が形成されると報告されている。本研究において接合試料の破断面におけるX線回折から確認できたのは Fe_2Al_5 のみであったが、過去の報告と同様に Fe_2Al_5 , FeAl_3 が存在していると考えられる。図5(a)と5(b)では後熱処理時間が異なるため単純に比較することはできないが、化合物の成長が拡散律速により時間の平方根に比例すると考えると、図5(b)で観察された化合物層の方が、より均一で厚く成長している。図5(b)の

Al-RE合金の場合は Al-Fe 系金属間化合物相中に Si の残留が認められたが Ce, La は確認できなかった。

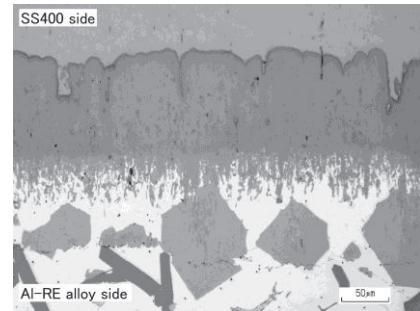
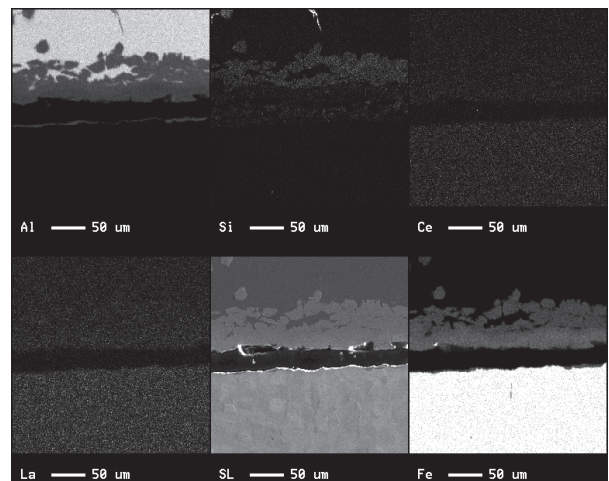
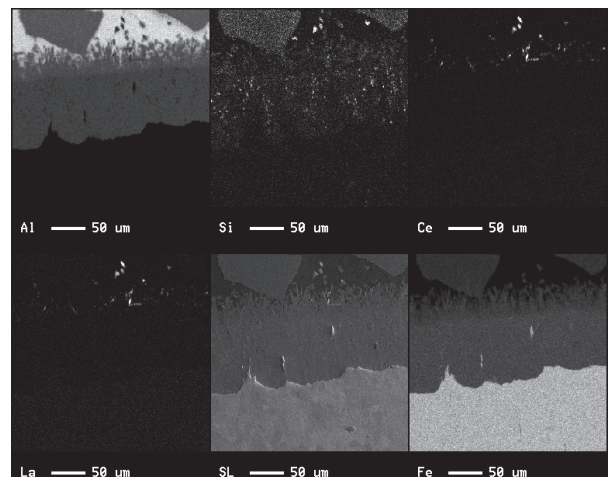


図4 Al-RE合金 / SS400 接合界面の光学顕微鏡写真

(Post-bond heat treatment time=7.2 ks)



(a) Al-1.5mass%Si / SS400



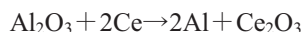
(b) Al-0.85%Ce-0.41%La / SS400

図5 接合界面近傍の EPMA 観察結果

3.3 考察

前述したように、ろう材に希土類元素を微量添加はろう接性を向上させる効果がある。これは、希土類元素がアルミニウム表面の酸化物層を還元するこ

とによるぬれ性向上や、ろう材が凝固する際の結晶粒微細化効果などによるとされている⁽²⁾⁽⁴⁾。一方母材に酸化物形成傾向の高い元素を添加する例としてはマグネシウムが挙げられる⁽¹⁾。この場合の接合性向上は、Mg 添加によりアルミニウム表面酸化物の組成が変化する ($\text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{MgAl}_2\text{O}_4$) および形状の変化 (析出した MgAl_2O_4 や MgO による Al_2O_3 層の不連続化による拡散パスの形成) といわれている。本研究で対象とした希土類元素のうち例えば Ce に対して、



$$\Delta G = -145 \text{ kJ (at 873.15K)}$$

と Mg と同様の効果が期待できる。本研究の場合、希土類元素はケイ化物あるいはカルシウムケイ化物として存在しているため、その効果は限定的であると考えられる。しかしながら、図 5 において金属間化合物層の厚さが増大し、層中に希土類元素が確認されないことから接合温度において希土類元素が何らかの役割を果たしていると考えられる。

一方、アルミニウム中の Si の影響については、接合初期においては Al-Fe 系金属間化合物の形成を抑制し、Si 量の増加と共に低温では反応層成長の活性化エネルギーが小さくなり、高温では大きくなる⁽⁷⁾といわれている。本研究において図 5(a)と(b)では、(b)の Al-RE 合金の方が 3.19mass%と Si 濃度が高く、接合温度 600℃はアルミニウム合金にとっては高温であるため Al-RE 合金において化合物相成長が抑制されるはずである。また、Si 濃度が高い場合に Si が局所的に高濃度となり、一時的に液相を生じた結果として化合物相が成長する可能性もあるが、本研究において液相が発生した兆候は認められなかった。本研究においては安価で入手しやすい球状黒鉛鋳鉄用添加剤を希土類元素の供給源として使用したため、Ca が存在したことおよび Ce と La 以外の希土類元素が複数種存在していた可能性があることから、希土類元素の影響を明確にするに至らなかった感否めない。希土類元素の供給源として純物質を使用することによって希土類元素の影響をより明確にすることが可能となると考えられる。

4 結言

本研究では希土類元素を微量添加した Al-RE 合金を溶製し、SS400 と拡散接合を行うことで Al-Fe 系金属間化合物に対し希土類元素がどのように影響するのか調査した。これらの実験から得られた知見を以下に示す。

- ・本実験で溶製した Al-RE 合金には針状、棒状・角状の 2 種類で析出物が存在し、いずれも Al, Si, Ca, Ce から成る化合物であると考えられるが、明確な同定には至らなかった。また、酸化物は確認されなかった。
- ・アルミニウム合金と SS400 の接合界面には FeAl_3 と Fe_2Al_5 の 2 相の金属間化合物層が形成されたと考えられ、Al-RE 合金の場合、化合物層はより厚く形成されたことから、金属間化合物層の形成に希土類元素あるいは Si が影響を与えていると考えられる。

参考文献

- (1) 小谷 啓子, 池内 建二, 松田 福久, 第 36 回界面接合委員会資料 IJ-9-94, 溶接学会, 界面接合研究委員会, 1994.
- (2) Shaohong Wang, Heping Zhoua, Yuping Kang, The influence of rare earth elements on microstructures and properties of 6061 aluminum alloy vacuum-brazed joints, *J. Alloys Compd.*, **352** (2003) p79 - 83.
- (3) Guowei Zhang, Yefeng Bao, Yongfeng Jiang, and Hong Zhu, Microstructure and Mechanical properties of 6063 aluminum alloy brazed joints with Al-Si-Cu-Ni-RE filler metal, *J. Mater. Eng. Perform.*, **20-8** (2011) p1451 - 1456.
- (4) Fei Yan, Daorong Xu, S.C. Wu, Qinde Sun, Chunming Wang, and Yajun Wang, Microstructure and phase constitution near the interface of Cu/3003 torch brazing using Al-Si-La-Sr filler, *Journal of Mechanical Science and Technology*, **26-12** (2012) p4089 - 4096.
- (5) 金属データブック: 日本金属工学会編, 1993.
- (6) V. Raghavan, *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, **28-5** (2007) 456 - 458.
- (7) 梅下 英孝, 廣瀬 明夫, 小林 紘二郎, 今枝 裕貴, 溶接学会全国大会講演概要, **81** (2007) 220 -221.

学 術 論 文

ヒグマをめぐる札幌市民の意識と行動

亀田 正人*

Residents' Attitudes and Behaviors
Toward Brown Bears in Sapporo

Masato KAMEDA*

(原稿受付日 平成 25 年 6 月 28 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

The goal of this study is to provide basic information on the attitudes and behaviors of residents in Sapporo toward brown bears (*Ursus arctos*) and bear management and, by doing so, to contribute to more informed management and policy decisions. The author conducted a mail survey among the residents of Sapporo living near the points where bears or their signs were reported in 2010 or 2011. The result showed: (1) the level of acceptance of bears is as high as half in the sample, (2) mass media and neighborhood associations play important roles in dispersing information and knowledge about bears, (3) respondents want the municipal government to conduct a variety of activities, including bear habitat investigation and public education, and (4) farmers and orchard owners also want more direct measures to avoid product losses.

Keywords: brown bear, human dimensions of wildlife, public attitude, mail survey, Sapporo

1 目的

本研究は、札幌市内のヒグマ出没地に住む住民のヒグマとヒグマ対策に関する意識と行動を把握し、今後のヒグマ保護管理政策に資することを目的としている。本稿はそのために行ったアンケート調査の結果を報告するものである。

札幌市は人口 190 万を擁する大都市であるが、南西部の山地を中心に市域面積の 60%以上がヒグマの棲む森林に覆われ、そこに市街地が入り込んでいるため、以前からヒグマの出没を経験してきた。特に 2011 年には、市民から寄せられたヒグマ

出没情報が 254 件と、過去 10 年間で最多となっただけでなく、これまで数十年間出没したことのない市街中心部にも出没が見られた (図 1)。マスメディアにも大きくとり上げられ、市民の間に動揺が広がった。人身事故はこれまで市街地でも農地でも発生していないが、農地では以前から作物被害が発生している。

札幌市がヘアトラップ (有刺鉄線を張り、それに接触した動物の体毛を採取する仕掛け) 等により採取した体毛などの試料を用いて行った DNA 分析の暫定結果によれば、2011 年に生息が確認されたヒグマは 49 頭にのぼる。つまりこの年に札幌市域内に生息していたヒグマは少なくとも 49 頭いたことになる。なお、同年に駆除されたヒグマはそのうち 7 頭であった⁽¹⁾。

* 室蘭工業大学 ヒと文化系領域

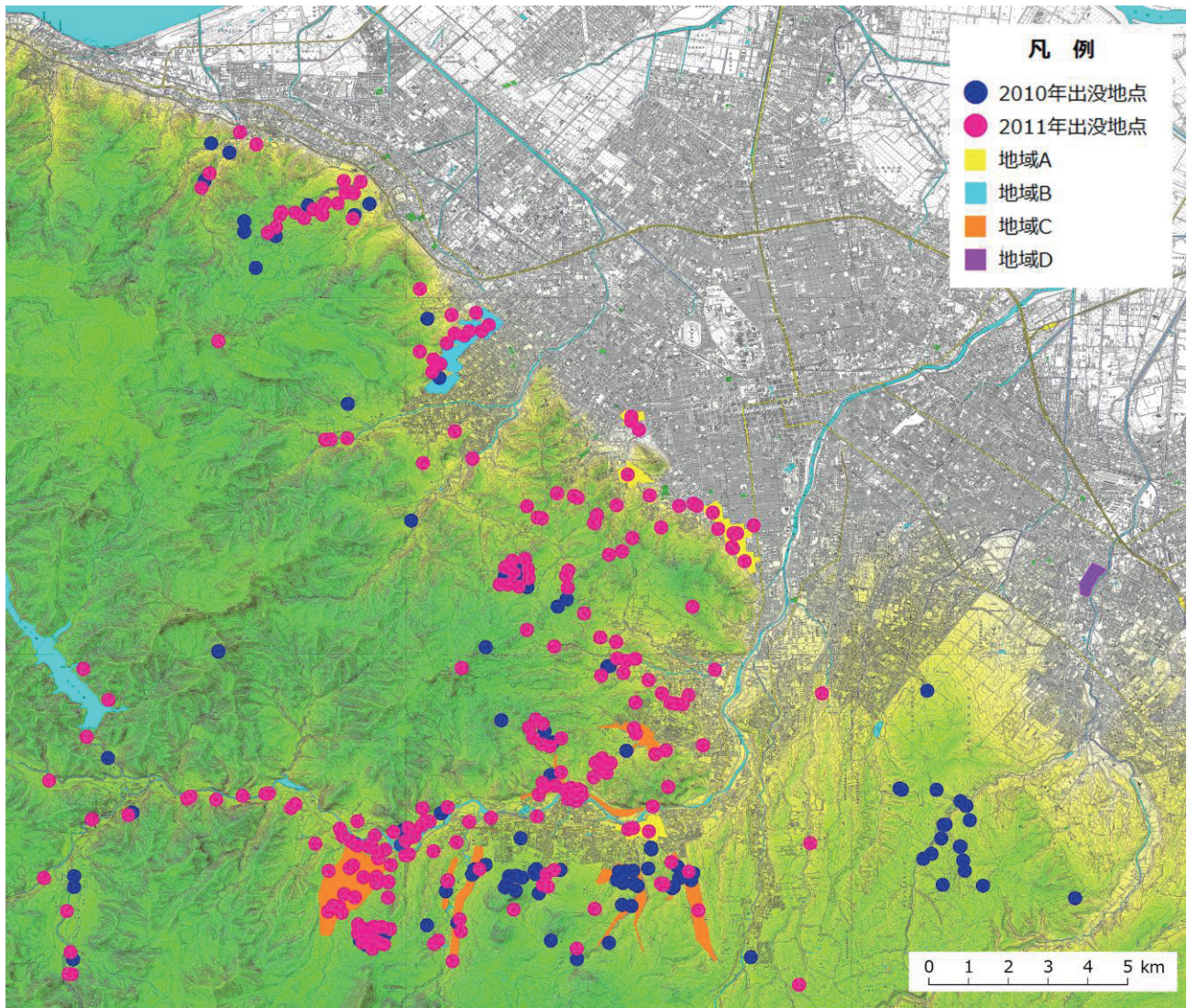


図1 札幌市内のヒグマ出没地点とアンケート調査対象地域

札幌市の資料⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾に基づき筆者作成。地形図は（一財）日本地図センター「25000 段彩・陰影画像」を使用した。紙幅の都合により周縁部（出没地点を少数含む）を一部省略している。「出没地点」は市に通報があった目撃または形跡の地点。位置は完全に正確ではない。円の直径は約 350m。

ところで、札幌市は五つに分断されている北海道のヒグマ生息地のうち積丹・恵庭（石狩西部）地域の周縁部に位置している。この地域のヒグマ個体群は地域的に孤立していて脆弱であることから、北海道により「保護に留意すべき地域個体群」に、また環境省により「絶滅のおそれのある地域個体群」に指定されている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。したがって札幌市においても、ヒグマと人との軋轢の管理に際しては住民の安全と同時にヒグマ個体群の保全にも留意する必要に迫られている。

このような課題に取り組むため、札幌市では 2002 年に札幌市ヒグマ対策委員会を設置し、ヒグマの出没時には予め定めた「ヒグマ対応基準」に照

らして当該ヒグマの危険度を判断し、これも予め定めた「基本行動マニュアル」に則って対応することとしている⁽⁷⁾。

さらに、札幌市は 2011 年 10 月、ヒグマ専門部署を設置する方針を発表、翌 2012 年 4 月には環境局みどりの推進部みどりの推進課内に専門部署である熊対策調整担当係を設置し、ヒグマ対策を本格化させている。

ところで、一般にヒグマなど野生動物と人との軋轢を管理するには、住民の感情や行動、行政への要望などを広く把握することが求められる。なぜなら、軋轢の中で被害を予防しうるか否かは住民の行動に大きく依存するし、それ以前に、被害をも

たらしかねない危険な動物が作りだされるか否かもまた、動物に影響を与える住民の行動に依存するからである。しかもヒグマの場合には、その身体能力から人を殺傷することもありうるため、出沒予防においても遭遇時の対処においても、個々人の意識と行動が安全確保上きわめて重要になってくる。

そのような事情から近年、野生生物管理の生物学的・生態学的側面よりもむしろ人間社会的側面に焦点を当てる「野生生物の人的側面」研究の重要性が強調され、研究が盛んになりつつある⁽⁸⁾⁽⁹⁾⁽¹⁰⁾。

しかし、札幌市のヒグマをめぐる先行研究が極めて少なく⁽¹⁾、したがって得られる情報がごく限られている。

筆者はこれまで北海道渡島半島地域を対象に研究を行い、住民アンケートを用いた調査により知見を蓄積してきた⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。本研究ではその蓄積を踏まえ、先行研究に比して包括的なアンケート調査を行い、札幌市内ヒグマ出沒地域住民の意識と行動を、より包括的に把握することとした。

2 方法

アンケート調査は、質問票（付録2）を郵送で配布し郵送で回収した。配布は2012年2月10日に、また回収は3月末まで行った。質問票配布対象者は次のように抽出した。

まず札幌市全域から互いに属性の異なる4つの地域を抽出した。すなわち、2011年に初めてヒグマが出沒した市街である中央区の円山・藻岩山周辺および南区の藤野公園周辺（本稿では「地域A」

と呼ぶ）、以前から出沒していた市街である西区西野の西野市民の森・宮の丘公園周辺（同じく「地域B」）、以前から出沒していた郊外である南区南沢・白川・石山・藤野・簾舞・豊滝（同じく「地域C」）、そしてヒグマが出沒しない清田区北野（同じく「地域D」）である（表1および図1）。

質問票配布対象者は、地域A、B、Cで2010年または2011年、またはその両年にヒグマが出沒したとされる地点から半径約300m（一部約500m）以内に住み、株式会社ゼンリン発行の『ゼンリン電子住宅地図デジタウン』各区最新版に氏名が掲載されている住民の中から無作為に抽出した。

質問票が到達した人のうち回答を寄せた人は地域により54ないし64%、平均60%にのぼり、この問題への関心の高さをうかがわせた（表1）。

ただし、上記のような抽出方法をとったため、性別・年齢などにおいて回答者の構成と当該地域住民全体の構成の間に偏りがあることに注意が必要である。すなわち、回答者は主に戸建て住宅に住み、表札を出し、家族を代表する立場にある人、したがって比較的高齢の男性が圧倒的に多いと推測される。

実際、回答者はどの地域でも60代と70代の人が多く（図2）、また男性が多い（地域により79ないし82%）。2人暮らしが半分近くを占め（地域により42ないし49%）、小学生までの子供のいる家庭はきわめて少ない（地域により6ないし9%）。職業はどの地域でも無職が最も多く、被雇用者がそれに続くが、地域Cでは他の地域に比べて農業自営が多く（図3）、それにとまって田・畑・果樹園を持つ人が多い（図4）。また、どの地域でも家庭菜園を持つ人が半数を超えている（図4）。

表1 アンケート実施の概要

地域	属性	地区	配布数	回収数	回収率
A	2011年に初めて出沒した市街	中央区円山・藻岩山周辺および南区藤野公園周辺	475	296	62%
B	以前から出沒していた市街	西区西野 西野市民の森・宮の丘公園周辺	485	308	64%
C	以前から出沒していた郊外	南区南沢・白川・石山・藤野・簾舞・豊滝	289	159	55%
D	出沒しない市街	清田区北野	194	105	54%
計			1,443	868	60%

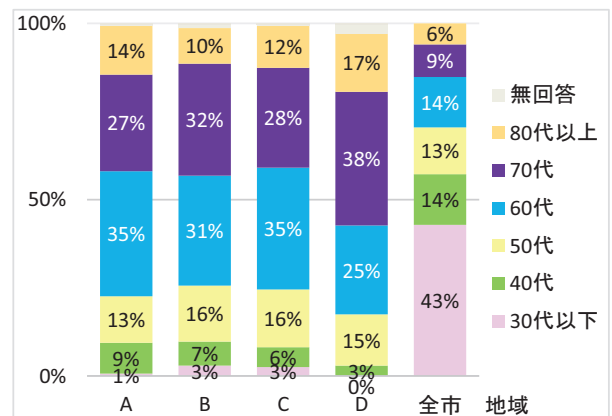


図2 回答者の年齢

図中「全市」は札幌市住民基本台帳（2012年1月1日現在）における全人口の年齢構成。

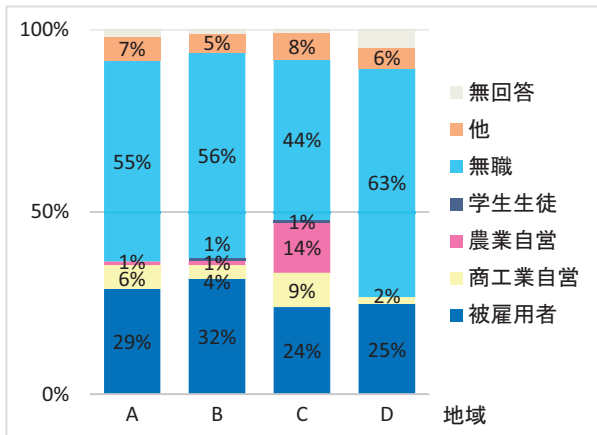


図3 回答者の職業

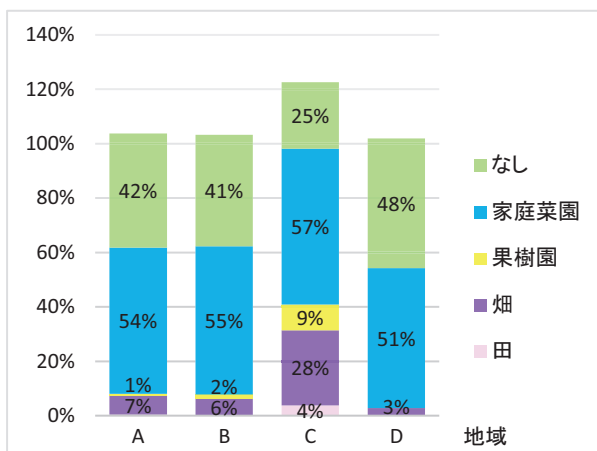


図4 所有する農地など
複数回答を含む

3 結果と考察

3.1 出没の認知

「最近数年の間に、あなたの家や家庭菜園、農地などの周辺にヒグマが出没したことがありますか」との問いに、本来ならば地域 A、B、C のすべての人が「はい」と答えるはずのところ、「いいえ」と答えた人が地域 A で 23%、地域 B で 19%、地域 C で 30%いた。

ヒグマはその慎重な習性から、人に知られずに行動することが多いことから、ヒグマ自体に気づかないことは大いにありうる。しかし地域全体では認知されている出没を知らされていないのは問題である。

また一般に「周辺」という言葉で具体的に何メートルくらいを想像するかは個人差があるため、300m（一部 500m）を「周辺」と思わない人がいても不思議ではない。しかしその場合、その範囲内への

出没を知ったうえで「周辺」への出没と感じていないということは、その出没を自分にかかわることと感じていない、つまりヒグマに対して意識の上で無防備の状態にあることを示唆している。事故を予防するという観点からは、望ましい状況とは言えない。

過剰な恐怖心を与える必要はないものの、自分の生活の安全に影響を及ぼしうるものとして意識してもらえよう、働きかけが必要であろう。無防備な住民による無頓着な行動、例えば夜間のごみ出しや家庭菜園への甘い作物の作付けなどがヒグマを引き付け、近隣住民に危険を及ぼす可能性がある。その可能性を考慮すれば、働きかけはさらに重要である。

3.2 出没の情報源

「周辺」へのヒグマの出没を認知した人に、その出没を何で知ったかをきいたところ、どの地域でも「マスコミで知った」、「現場に立てられた看板を見た」、「印刷物を見た」、「人から聞いた」が多かった（図 5）。特にマスメディアの影響は大きい。ここからマスメディアによる報道の内容が住民の意識、行動に及ぼす影響の大きさも推測される。

ただし、地域 C では足跡や糞、あるいは果樹や作物を食べた跡などの「形跡を見た」も多く、「自分が被害に遭った」も見られる（ただし人身被害はなかった）。農地が多く農家が多い、この地域の特徴を反映していると言えよう。

また地域 B では他の地域に比べて、広報車や市（区）の印刷物で知った人や、市（区）の人から聞いたという人が多く、以前からの出没時の注意喚起が効果を上げていることがうかがえる。

さらに、「印刷物」の出所としては、どの地域で

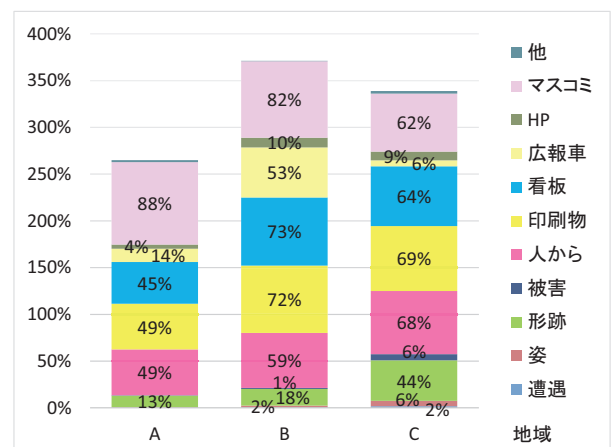


図5 出没を知った情報源
複数回答を含む

も町内会が 68%と最も多かった。市（区）は地域 A で 37%、地域 B で 60%、地域 C で 44%であった。情報伝播に果たす町内会の力の大きさがうかがえる。

なお、市（区）のホームページやインターネットで知った人は少なかった。これはウェブページの内容の問題というよりもむしろ、回答者に高齢者が多く、高齢者は一般にインターネットを利用する人が少ないことの結果であろう。ウェブページには、詳しい情報を常時提供できるという利点があり、有用なメディアであるが、それと並行して、多くの人が接することのできる在来型の注意喚起方法に一層力を入れることが効果的であろう。

3.3 出沒時の行動

「周辺」へのヒグマの出沒を認知した人に「何か備えをしましたか」と問うたところ、しなかった人が地域 A で 33%、地域 B で 37%、地域 C で 23%いた。それらの人にその理由をきいた。どの地域でも「自分には害が及ばないだろう」と考える人が多いが、地域ごとに比較すると、地域 B では「自分には害が及ばないだろう」と考える人が特に多く、地域 C では「どうすればよいかわからない」人が多い（図 6）。どちらも全体からみると少数ではあるが、このような人々を減らしていく必要があろう。

逆に何らかの備えをした人に、その方法を聞いた（選択肢から選択。複数選択可。図 7）。どの地域でも、周囲を警戒するのは当然として、ごみの管理をきちんとすべきことは半数以上の人に認識されている。

半面、地域によって若干の違いもある。「家から出ない」、「音を出す」、「犬を連れる」（常に有効とは限らないが）、「クマスプレーを持つ」、「車で外出する」などである。これらは住んでいる地域の特性

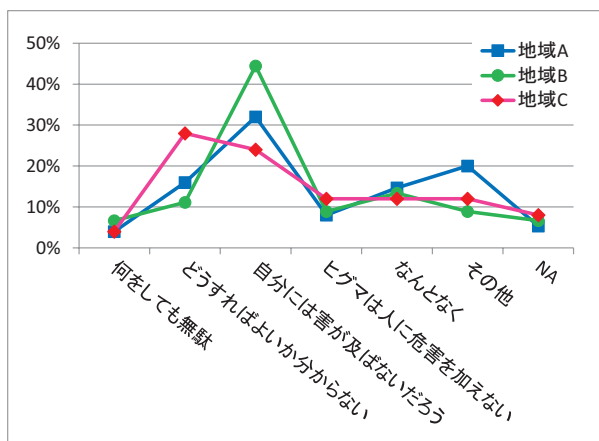


図 6 備えをしなかった理由

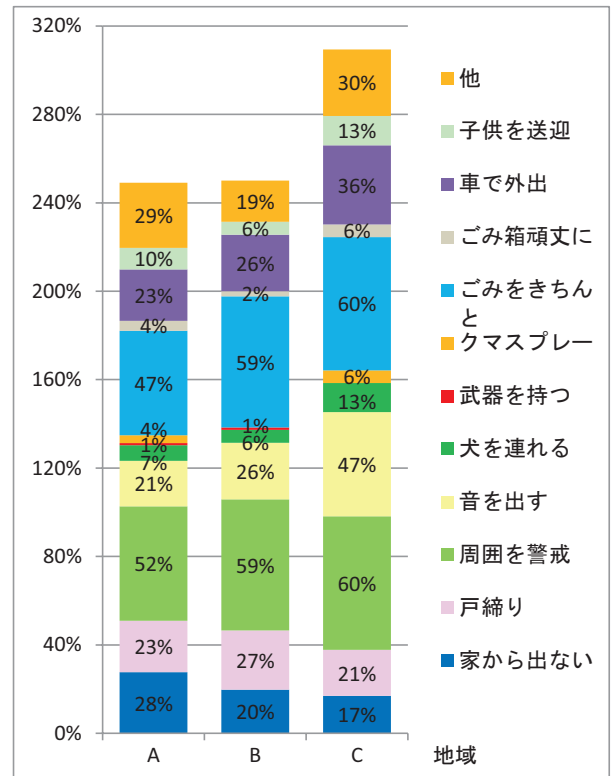


図 7 備えの方法

複数回答を含む

の違い、すなわち市街中心部と郊外との違いによる生活パターンの違いや、ヒグマの出沒を初めて経験した所と長年経験している所との違いなどによるものと推測される。このことを踏まえて、地域の実情に即して行うべき対策を、備えをしていない人々も含めて広めていくことが必要であろう。

3.4 行政の対応への満足度

ヒグマが出沒した時の市（区）や警察の対応についてはおしなべて不満は少ない。どの地域でも不満に比べて満足が大幅に多いが、地域 B ではその傾向が顕著である（図 8）。3.2 で述べた出沒時の注意喚起の効果もその一因と推測される。

不満の内容は、「警告だけでは解決しない」、「見

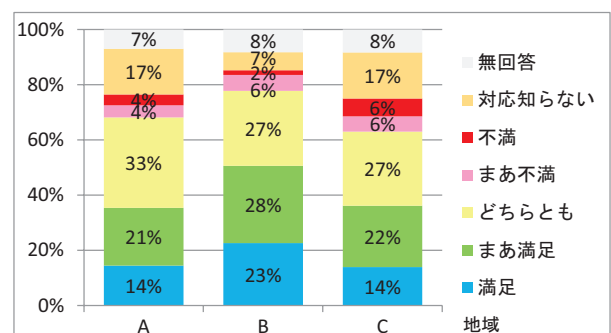


図 8 市（区）や警察の対応への満足度

回りを増やしてほしい」、「早く駆除してほしい」、「広報車が何を言っているのか聞き取れない」、「個々人への注意や説明がない（遅い）」、「ごみ収集が遅かった」、「夜一人で歩くなと言われても無理」、「騒ぎすぎ」、「公園の立ち入り禁止期間が長すぎ」などであった。

3.5 出沒・生息への態度

「ヒグマが人の住んでいる所に出て来ることに ついて」どう思うかきいたところ、地域により 71 ないし 76%の人が「絶対許せない」または「出て来ない方がよい」と答えた（図 9）。この点ではどの地域でも大きな違いはない。

また、「人の住んでいない所にヒグマがいることについて」どう思うかきいた（図 10）。「いるべき」と「いた方がよい」を合わせた回答は地域 A から D へ順に 48、49、42、51%に達し、どの地域でも、「絶滅すべき」と「いない方がよい」を合わせた回答（地域順に 17、18、28、15%）を上回っている。後者に対する前者の倍率は、地域順に 2.8 倍、2.7 倍、1.5 倍、3.4 倍である。ヒグマの出沒する地域 A、B、C でもヒグマの出沒しない地域 D と同様、

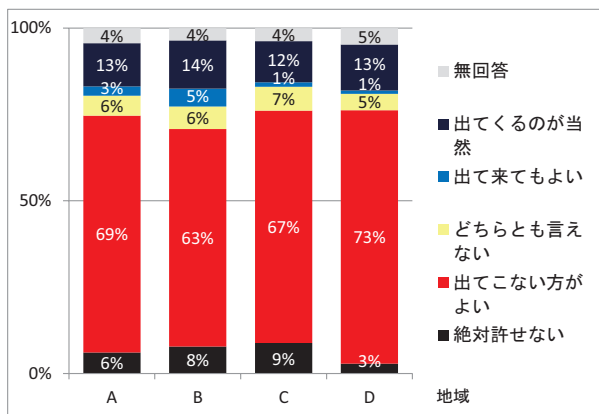


図 9 ヒグマの出沒への態度

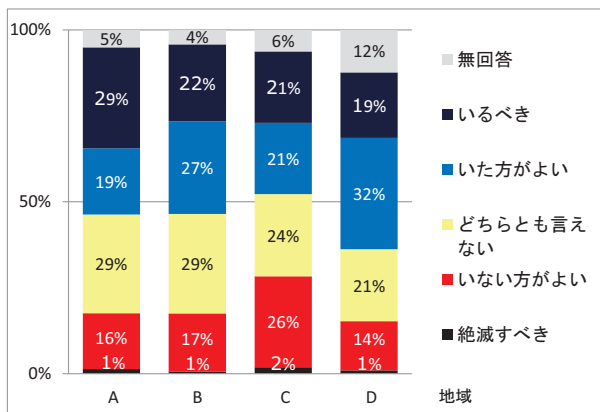


図 10 ヒグマの生息への態度

ヒグマの生息に対する受容度は高い。

とはいえ、地域によって、その度合いに違いがある。回答を、「絶滅すべき」と「いない方がよい」を合わせたもの、「いるべき」と「いた方がよい」を合わせたもの、および「どちらとも言えない」の 3 つのグループにまとめたうえで、地域間でその分布を比較（カイ二乗検定）してみたところ、次のような結果を得た。

まず地域 C と他の 3 地域の間には有意差が認められた（地域 C と地域 A で $P=0.022$ 、地域 C と地域 B で $P=0.018$ 、地域 C と地域 D で $P=0.047$ ）。それに対して地域 A、B、D の間では有意差は認められなかった（地域 A と地域 B で $P=0.997$ 、地域 A と地域 D で $P=0.419$ 、地域 B と地域 D で $P=0.435$ ）。

ヒグマの生息に対する受容度は、同じヒグマ出沒地域であっても、地域 A と地域 B ではヒグマの出沒しない地域 D と変わらず高いのに対し、地域 C では地域 D に対してはもとより、地域 A や地域 B に対しても低いという違いが明らかとなった。

この違いはどのような事情に起因するのだろうか。その要因の一端を見出すため、地域 C に他地域よりも農業自営の人が多く（図 3）に着目し、農業経営とヒグマ生息への態度との間に何らかの関係があるのではないかと仮説の下、地域 C の農業自営の人とその他の人との間にヒグマ生息への態度の分布（回答のグループ化は上記と同じ）に差異があるかカイ二乗検定を行ったが、有意差は認められなかった（ $P=0.135$ 。なお、全地域を一括して同様の検定を試みたが、地域 C 以外の農業自営の標本数が極端に少ないため、断念した）。

ここから推定されることは、地域 C では他の地域に比べて、農業を営む人もそうでない人も同様に、ヒグマの生息を受け入れがたく感じている人が比較的多いということである。その要因としては、長年にわたりヒグマが頻繁に出沒しているという地域特性以外に推定できるものはない。

この結果は、ヒグマ出沒に伴う恐怖や農業被害が長く続くなら、どの地域でも、今は高いヒグマ生息への受容度も将来低下する可能性があるということを示唆しているのではないかと。出沒予防はそれ自体喫緊の課題であるが、同時に、将来ヒグマへの受容度を悪化させないという観点からも重要な課題であると言えよう。

ところで、ヒグマの生息に対する回答者一人一人の意見はどのような理由に基づいているのだろうか。それぞれの意見について、そう思う理由を尋ねた。典型的な回答を例示する。

- (a) 「絶滅すべき」理由
「百害あって一利なし。」
「ヒグマがいる必要性が不明。」
- (b) 「いない方がよい」理由
「いない方が安全、安心できる。」
「登山、山菜採り、散歩などに支障。」
「共存できないと思う（動物の生活の範囲が必要）。」
「必要最少頭数であるべき。」
「住み分けが出来るとよいのですが。」
「森の中など人の住んでいないところでの生存権ぐらいは認めてもよいように思う。」
- (c) 「どちらとも言えない」理由
「自然界にクマが生存することは当然のこと。」
「この世の中に必要のない動植物は無いと思います。バランスの問題だと思います。」
「生き物なのだから熊にも生きる権利があると思う。しかし、人間の生活の場に降りて来ては困る。山から出ないような対策を！」
「軒先 30m の庭に足跡がありましたが、熊も喜んで近くまで来たわけでもないと思います。仲良く住み分けたいものです。」
- (d) 「いた方がよい」理由
「熊が住むほどの自然を維持すべき（熊も自然の一部）。」
「北海道には昔からヒグマはいるものですから。北海道は大自然のイメージ。いてもいいのでは。」
「森の生態系のバランスのためにもいた方がよいと思う。以前はオオカミもいたと聞いているが、自然の生態を崩すべきではない。」
「ヒグマも先祖代々、人間と生きてきたから。」
「クマにも居住権がある。人間の方がいたずらに騒ぎ立てている。」
- (e) 「いるべき」理由
「自然のバランス上、いるべきというよりあたりまえだ。」
「人が他の動物の生存権を決めるべきでない。」
「元々この土地はヒグマの住みかだった。」
「ヒグマがいることにより、自然の生態系が保たれていると思う。」
「人間を含めた生態系の維持。」
「北海道で最強の動物がいなくなれば、必要のない開発が進むのでは。」

次の 7 つの（一部仮想の）対策例を挙げて、意見をきいた（各項目末尾の [] 内は本文および図 11 中での略称）。

- (1) ヒグマの生態や対応方法について住民教育をする [住民教育]
- (2) 生ゴミや農産廃棄物をきちんと管理するよう住民を指導する [ごみ指導]
- (3) 春のうちにヒグマを山で捕獲して頭数を抑える [春山捕獲]
- (4) 山でのヒグマの食料や森の面積を増やす [森林豊富化]
- (5) 人身事故や農業被害などに対する補償制度を整備する [被害補償]
- (6) 電気柵など予防措置をする人に物的・資金的な援助をする [予防援助]
- (7) 札幌市内のヒグマの生息数・行動範囲・出沒要因などを調査する [生息調査]

これらの対策のそれぞれについて「行うべき」と答えた人（「どちらかという行うべき」を含まない）の割合は図 11 のとおりである。

どの地域でも「ごみ指導」と「生息調査」への支持率が高く、それ以外がその半分の四分の一程度となっている。

ただし、地域 C では他の地域と比べて「被害補償」、「予防援助」、「春山捕獲」の支持率が有意に高くなっている。地域 C と他の 3 地域との間で各対策例への支持分布（無回答を除く）についてカイ二乗検定を行った結果、これら 3 対策についての P 値はそれぞれ 0.008、0.002、0.001 であった。

地域 C では農業を営む人が比較的多い。農業被害への対策を求める声は高く、他の地域を含めて有効な農業被害対策の選択と実行が望まれる。

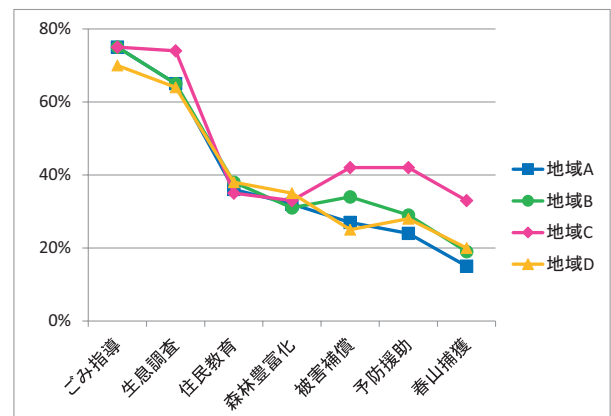


図 11 各対策への期待

各対策案に「行うべき」と答えた人の割合

3.6 行政に期待する対策

住民は行政にどのような対策を望んでいるか。

3.7 専門部署への期待

「札幌市は昨年10月、ヒグマの専門部署をつくるという方針を発表しました。あなたはその部署にどのようなことを期待しますか。自由にお書きください。」との問いに対して、553人（回答者全体の64%）が回答を寄せた。「期待していない」あるいは「専門部署は不要」と答えた10%と「内容を知らない」あるいは「分からない」と答えた3%を除く87%の人がなんらかの期待を寄せていることが分かった。

期待の内容は多岐にわたるが、分類すると内訳は次のとおりである（複数の論点を含む回答は、その内容にしたがって複数の項目に数えた。括弧内は該当件数と、この問いへの回答者に対する割合）。

- (a) 情報発信や広報に努めてほしい（92件、17%）
- (b) ヒグマの生息調査をしてほしい（90件、16%）
- (c) 共存、棲み分けができるようにしてほしい（79件、14%）
- (d) 人間の安全を優先してほしい（65件、12%）
- (e) 住民への指導、教育、啓発、説明会をしてほしい（38件、7%）
- (f) 出没時に敏速な情報発信をしてほしい（37件、7%）
- (g) ヒグマや森林を保全してほしい（33件、6%）
- (h) 出没時に現場での巡回や対策など敏速な対応をしてほしい（27件、5%）
- (i) 頭数を適正規模に管理してほしい（17件、3%）
- (j) 出没したヒグマを駆除しないでほしい。（16件、3%）
- (k) 専門家を入れてほしい・専門家と連携してほしい（13件、2%）
- (l) 出没したヒグマは駆除してほしい（8件、1%）
- (m) 期待している・専門部署の設置はよいことだ（23件、4%）
- (n) 期待していない・専門部署は不要（58件、10%）
- (o) 内容を知らない・分からない（19件、3%）
- (p) その他（25件、5%）

なお付録1に、各類型に該当する回答の中から特徴的なものを数件ずつ例示する。

3.8 学習会への参加意向

「今後ヒグマについての学習会が開催されるとしたら、あなたは参加しますか」との質問に、「はい」と答えた人が地域Aで45%、地域Bで41%、地域Cで50%、地域Dで39%にのぼった。情報や知識への需要の高さがうかがえる。

学習会の望ましい規模としては「町内会単位」が

圧倒的に多く、「区単位」、「20～30人」と続く（図12）。3.2に述べた情報伝播においてと同様、地域でのヒグマ対策における町内会への期待は高い。

次に、学習会で知りたいことを次の7つの中から4つ選んでもらった。

- (1) ヒグマの生理・生態
- (2) 札幌周辺のヒグマの生息状況
- (3) ヒグマ出没の要因
- (4) ヒグマ出没の予防法
- (5) ヒグマとの遭遇の予防法
- (6) ヒグマと遭遇したときの対処法
- (7) その他

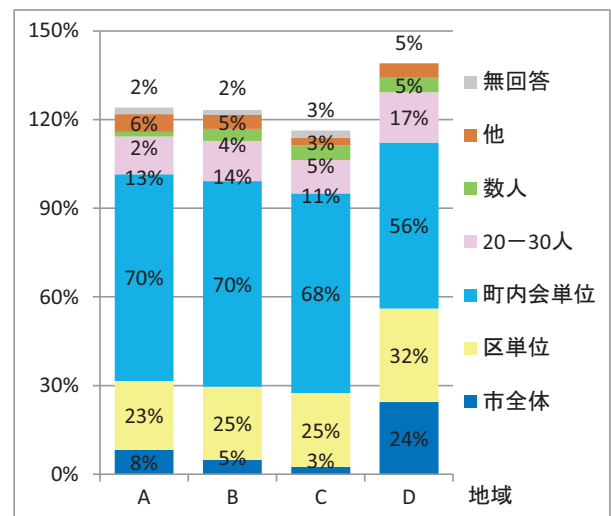


図12 望まれる学習会の規模

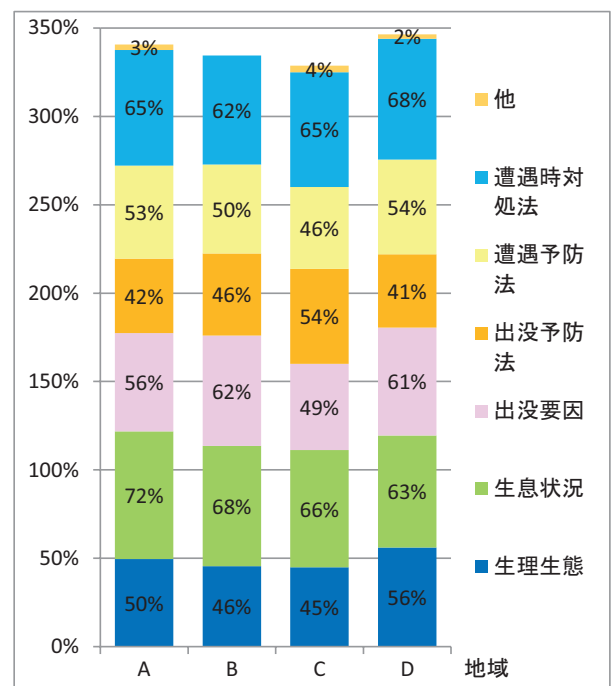


図13 期待される学習内容

7つの選択肢から4つ選択

回答は、「生息状況」と「遭遇した時の対処法」が他の項目よりもやや多かったものの、どの項目もほぼ半数以上の人が要望している（図 13）。

4 結論

アンケート調査の結果から、ヒグマにかかわって市民の間にどのような感情や考え、行動、要望があるかが浮き彫りにされた。札幌市におけるヒグマ対策がこの結果を参照しながら展開されることが望まれる。特に考慮すべき点を以下にまとめる。

まず、住居の近くにヒグマが出没しても、それを知らない、あるいは身近に感じていない人が相当おり、また身近に感じていても備えをしない、あるいはどうしてよいか分からない人も無視できない程度いることが明らかになった。ヒグマの出没について確実に知らせること、また地域ごとに適した対処法を知らせることが必要であろう。結果的にヒグマと遭遇することがなくとも、知っていること自体が程よい警戒感と安心感につながりうる。

しかし農業被害が続く地域ではそれだけでは十分ではない。農家と相談しながら具体的な防除策の提案と援助を行い、防除の実をあげることが不可欠であろう。地域住民自身もそれを望んでいることがアンケートから明らかであるし、実際、農家の間でも最近、電気柵を設置して自衛しようとの動きが徐々に広がっている。

札幌では出沒地近くの住民のおよそ半数がヒグマとの共存を望み、あるいは許容している。これは出沒しない地域の住民とほぼ同様である。ただし、出沒による恐怖や被害が続くならば、その受容度が低下する可能性がある。また逆に、安易な受容がかえって適切な対処を怠ることにつながり、事態を悪化させるおそれもある。受容度が高いうちに、住民をはじめ町内会やマスメディアなどの協力を得ながら、出沒と被害を確実に減らすべきである。

ところで 2012 年 4 月、ヒグマの専門部署である熊対策調整担当係が設置された。これに対しては、アンケートの中で多くの期待が寄せられた。警察や猟友会、学校、専門家などとの協力のもと、より機動的で統一的な出沒時対応と、平素からの包括的な対策の可能性が開けてきた。

これとは別に、札幌市では 2010 年度からヒグマの調査を外部の、ヒグマについて長年の経験をもつ専門業者に委託を始め、現在ではその業者が生息調査や出沒時調査などにあたっている。アンケ

ートでも要望の多かったこれらの調査により、札幌市内に生息するヒグマの頭数や個々の動きが徐々に明らかになってきている⁽¹⁾。ヒグマは個性豊かな動物である。個々のヒグマの性格や置かれている状況や行動パターンが分ってくれば、予防から警戒、追い返し、さらには駆除まで、それぞれのヒグマと出沒地の状況に合わせた、よりの確な対応が可能となろう。またこの業者は委託業務の一環として、主に小中学校での子供向けの教育も精力的に行っている⁽¹⁾。

こうして、調査研究、教育、対策が徐々に一体のものとなってきた。北海道内でも先進的な試みと言えよう。市民の声に耳を傾けながら前述の諸課題に取り組んでいくことを期待したい。

ところで、このような動きのなかで相対的に手薄になってきたのは、大人向けの教育であろう。子供向けの教育は将来実を結ぶであろうが、現在出沒しているヒグマには現在の大人が対応するほかない。したがって子供向けに劣らず大人向けの教育が不可欠である。最近、住民たちが自ら主催して学習会を開く試みもみられるようになった⁽¹³⁾。アンケートでは半数近くの人が、学習会があれば参加したいと答えていた。この声に応えて早い時期に、個々の地域の実情を踏まえた積極的な教育活動が展開されるべきであろう。

謝辞

アンケートに答えて下さった方々に感謝申し上げます。また、現地での聞き取り調査などに協力して下さい下さった住民の方々、さらに本研究に協力して下さい下さった札幌市の各担当部署の方々にも感謝申し上げます。

なお、本研究は JSPS 科研費 22510038 の助成を受けて行ったものである。

文献

- (1) 特定非営利活動法人 EnVision 環境保全事務所、平成 23 年度緊急雇用創出推進事業補助金交付要綱に基づく野生動物の市街地侵入防止策と出沒対応モデル実施事業報告書、2012 年
- (2) 特定非営利活動法人 EnVision 環境保全事務所、平成 22 年度札幌市緊急雇用創出推進事業野生動物による市街地等への侵入経路調査および侵入防止策の調査・研究業務報告書（概要版）、2010 年
- (3) 札幌市、平成 22 年度ヒグマ出沒情報、2011 年

- (4) 札幌市、平成 23 年度ヒグマ出没情報、2012 年
- (5) 北海道、北海道の希少野生生物 北海道レッドデータブック 2001、2001 年
- (6) 環境省、第 4 次レッドリスト、2012 年
- (7) 札幌市ヒグマ対策委員会、ヒグマ出没時の安全対策の手引き、2012 年
- (8) Manfredo, M. J., Who Cares About Wildlife?, Springer, 2008
- (9) Glikman J. A. and Frank B., Human Dimensions of Wildlife in Europe: The Italian Way, Human Dimensions of Wildlife, Vol.16 (2011), p368-377
- (10) 桜井良、上田剛平、ジャコブソン・K・スーザン、兵庫県但馬地方におけるツキノワグマに関する住民意識調査－政策・対策に反映させるための意識調査の設計及び実施－、野生生物保護、13 巻 2 号 (2012 年)、p33-46
- (11) 亀田正人、丸山博、ヒグマをめぐる渡島半島地域住民の意識と行動、室蘭工業大学紀要、53 号 (2003 年)、p65-76
- (12) 亀田正人、丸山博、前田菜穂子、ヒグマをめぐる厚沢部町および長万部町住民の意識と行動、室蘭工業大学紀要、57 号 (2007 年)、p1-15
- (13) 南沢地区まちづくり協議会、南沢まちづくりパンフレット 南沢地区の地域課題を語り合うフォーラム ヒグマと人との出会い－住宅地に出てくるヒグマの実態と安全対策－、2012 年

付録 1 専門部署に期待すること

「ヒグマ専門部署にどのようなことを期待しますか」への回答例（[] 内は筆者による補足）。本文 3.7 参照。

- (a) 情報発信や広報に努めてほしい (92 件、17%)
 - ▼ヒグマの出没する場所を地図にして新聞などで知らせる。
 - ▼熊の出没時期と要注意地域の情報。
 - ▼過去に出没した場所を毎年継続的に状況報告してほしい。
 - ▼TV ラジオで現実に行っている事を正しく報道する。対処法も詳しく教えてほしい。
- (b) ヒグマの生息調査をしてほしい (90 件、16%)
 - ▼生息数・行動範囲・出没要因の他に、人里に出没するヒグマは、前年と同じヒグマなのかの調査、人身事故が起きる前に手を打つべき。
 - ▼現状の山の状態を把握し、熊が街に降りて来なくてもいいように考えてほしい。
- (c) 共存、棲み分けができるようにしてほしい (79 件、14%)
 - ▼なるべくヒグマを殺さずに、人家に近づかない様な事（方法）を期待します。
 - ▼ヒグマと共存するための、長期的なプログラムの作成と PR。
 - ▼世界的には共存という方向と思いますが、どのように工夫しているのかを知る必要があると思います
- (d) 人間の安全を優先してほしい (65 件、12%)
 - ▼ヒグマの生態を知ることにより、うまく共存できるようにすること。
 - ▼熊を殺すだけでなく共存できることを願います。昔からこの西野には熊がいて、またぎが何頭か捕まえたとの事。農家の人は作物を食べられても昔からだからと気にしていませんが、むしろ大騒ぎするのは新住民です。山の下刈り等をすると里には下りて来ないそうです。
- (e) 住民への指導、教育、啓発、説明会をしてほしい (38 件、7%)
 - ▼一般論ではなく、地域の実状に基づいた住民教育。
 - ▼特に出没が多い地区で説明会など行ってほしい。
 - ▼山に近い住民の意識を高める啓蒙活動を行ってほしい。学校での教育にも力点を置く。
 - ▼町内会合等に専門的な事を教われると有難い。
 - ▼住民に対する対処方法の啓発。
 - ▼ヒグマが人間の食べ残しをあさったりできないよう住民への教育をし、クマを殺すようなことにならないようにしてもらいたい。
- (f) 出没時に迅速な情報発信をしてほしい (37 件、7%)
 - ▼クマ出没情報を、いつでも見られる環境にする。例えば、テレビの「d」ボタンにこのコーナーを追加する等。
 - ▼ヒグマが出没した事の案内ですが、住宅地は回って知らせるようですが、仕事に出ると夜まで気がつきません。スピード案内の仕方を考えてほしい。
 - ▼いつどこに出没し、その時の対応、またクマの生態を町内会の回覧板で回してほしい。
 - ▼ホームページだけでなく新聞・ラジオ・テレビ等で経過報告してほしい。
 - ▼騒ぎではなく事実を、大げさな対応ではなく冷静な対応をするための情報を希望。
- (g) ヒグマや森林を保全してほしい (33 件、6%)
 - ▼人里に降りて来なくてもよい様に山をもっと豊かにする。
 - ▼人間がヒグマの生態系に近づき過ぎている事を反省すべき。

- ▼熊のエサを皆とっては食べるようでは熊が里へ出るのは当たり前。もっと熊の住みやすい場所を作ってやるべき、特にキノコやブドウの時期にみんな取りに行くのはやめるべき。
 - ▼10年前には市内にクマが出たとのニュースはあまり聞かない。住宅開発の規制や、クマが生きていける環境づくりの研究を。
- (h) 出没時に現場での巡回や対策など敏速な対応をしてほしい (27 件、5%)
- ▼市(区)と町内会、警察が連携し現場へ逸早く動ける態勢づくりが必要かと思います。
 - ▼登下校中の子供たちの安全を守るためパトロールを配置してほしい。夕方にも習い事等心配で休まざるを得ない時もあった。
 - ▼出没情報があれば、当該地区に姿を消すまで 24 時間体制で監視すべき。
 - ▼出没が繰り返される場所には、事前に檻を設置し駆除。
 - ▼必要なときは、すぐに駆除できる体制にする。銃の許可を得ている人を配置する。
 - ▼出没した時に速攻で対応できる体制に。事前に許可申請を提出して、許可に対する時間のかからぬ対策を。危機管理意識を高める市、猟友会、道、専門家との一体心 [ママ] 体制。
- (i) 頭数を適正規模に管理してほしい (17 件、3%)
- ▼北海道全体の数を 30 年前に戻す。多い分を駆除することで人との付き合いができると思う。
 - ▼共存するために一定の距離を保ち、熊の食料に見合った頭数を管理すべき。
 - ▼広報活動を活発にしても、安心して畑仕事が出来ない。根本的な対策を立て札幌市内から駆除してもらいたい。以前 (20 年以上前) は出没しなかった。
 - ▼熊の頭数が増えているので春熊の捕獲をして減らすべき。
- (j) 出没したヒグマを駆除しないでほしい (16 件、3%)
- ▼ヒグマが出没出来ない対策を考えるべきで、殺戮や危害を加えないで撤退させる対策が必要である。
 - ▼クマを山に追い返す。市街地へ出てきてはいけないことを学習させる。
- (k) 専門家をに入れてほしい・専門家と連携してほしい (13 件、2%)
- ▼ヒグマの生態に詳しい専門家に参入してほしい。
 - ▼森林に関わる専門家・都市計画・まちづくりの専門家との連携が必要不可欠。
- (l) 出没したヒグマは駆除してほしい (8 件、1%)
- ▼人里近くに出没するクマは、人的被害が生ずる前に駆除すべきと思う。
 - ▼住民地域へ出没する熊は駆除すべき。追い返すばかりでは人を恐れず近づき危害を加えるようになる。
- (m) 期待している・専門部署の設置はよいことだ (23 件、4%)
- ▼山に囲まれ、野生生物 (ヒグマ) の行動範囲に住んでいる者にとっては、必要な部署と思っています。
 - ▼少人数とはいえ専門部署を新設したことは評価できる。関係機関との連携、地域との関わり合いに力を入れてほしい。
- (n) 期待していない・専門部署は不要 (58 件、10%)
- ▼必要はない。毎年ではない。23 年が異常なの。
 - ▼専門部署を作って天下りをしようとする役人が多くて困る。
 - ▼机に向かってデータ集めをやる前に野山に入って下枝払いや整備の仕事をやった方がよい。クマのふんや足跡があったら立ち入り禁止と大騒ぎするのは考えものです。
- (o) 内容を知らない・分からない (19 件、3%)
- (p) その他 (25 件、5%)
- ▼役所の中で机にいるだけではダメ。現地に来て対応を住民と協議する、そして対策が必要。
 - ▼ヒグマのことも知るべきですが、人間の行動もよく知ること。
 - ▼自然環境を総体的に検討すべき。ヒグマだけの問題ではない。
 - ▼クマクマと少し騒ぎすぎ。「出ても仕方ない。出てあたり前だ」と考えられるようにしてほしい。
 - ▼住宅街に出没しないよう夜間照明など完備する (道路外灯 [ママ])。
 - ▼出没する地区における生ごみの管理を徹底する。

付録2 質問票

質問を始めます。各質問に対してあてはまる答えに○をつけるか、空欄に直接答えをお書き下さい。

はじめに、あなたの周りのヒグマの出没状況についてお聞きします。

問1 最近数年の間に、あなたの家や家庭菜園、農地などの周辺にヒグマが出没したことがありますか。

a) いいえ →3ページの問5にお進み下さい。

b) はい →次の問(1)(2)(3)にお答え下さい。

(1) それはいつのことですか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。

ア) 昨年 (2011年 = 平成23年) イ) 昨年以前

(2) 敷地からどのくらい離れたところに出ましたか。最も近かった距離に○をつけて下さい。なおおよそで結構です。

ア) 敷地内 イ) 100m以内 ウ) 300m以内
エ) 500m以内 オ) 1km以内 カ) 1km以上

(3) その出没を何で知りましたか。次の「ア」から「サ」までのうち、当てはまるものすべてに○をつけ、付随する問いにお答え下さい。

ア) 通達した(出くわした)
イ) 姿を見た
ウ) 形跡を見た

→どのような形跡ですか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。

ア) 足跡 b) 糞 c) 果樹や作物を食べた跡
d) こみをあさった跡 e) 物を壊した跡 f) その他

工) 自分が被害に遭った →どのような被害ですか。

オ) 人から聞いた

→それは誰ですか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。

a) 家族 b) 近所の人 c) 友人・知人 d) 市(区)
e) 警察 f) 学校・幼稚園・保育所 g) その他

カ) 印刷物(ビラ・チラシ・回覧板など)を見た

→それは誰が発行したものです。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。

a) 市(区) b) 警察 c) 町内会
d) 学校・幼稚園・保育所 e) その他

キ) 現場に立てられた看板を見た

ク) 広報車の放送を聞いた

ケ) 市(区)のホームページを見た

コ) マスコミで知った

→次のどれですか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。

a) テレビ b) ラジオ c) 新聞 d) インターネット

サ) その他

次に、ヒグマが出没した時のことについてお聞きします。
問1で「はい」(出没したことがある)と答えた方だけお答え下さい。
問1で「いいえ」(出没したことがない)と答えた方は、このまま次のページにお進み下さい。

問2 ヒグマが出没した時、あなたは何か備えをしましたか。

a) いいえ →なぜですか。1つだけ○をつけて下さい。

ア) 何をして無駄だと思ったから
イ) どうすればよいか分からなかったから
ウ) 自分には害が及ばないだろうと思ったから
エ) ヒグマは人に危害を加えるものではないと思ったから
オ) なんとなく
カ) その他

b) はい →次の問(1)(2)にお答え下さい。

(1) どのように算をつけましたか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。

ア) 家からなるべく出ない イ) 戸締りをする
ウ) 周囲を警戒しながら歩く エ) 音を出しながら歩く
オ) 犬を連れて歩く カ) 刃物等の武器を持つ
キ) クマスプレーを持つ ク) ごみを決まり通りにきれいに出す
ケ) こみ箱を頑丈なものに替える コ) なるべく車で外出・送迎する
サ) 子どもの通学・通園時に送迎する シ) その他

(2) なぜそうしようと思いましたが、次の「ア」から「キ」までのうち、当てはまるものすべてに○をつけ、付随する問いにお答え下さい。

ア) 自分で考えた

イ) 人から教えられた

→誰からですか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。

a) 家族 b) 近所の人 c) 友人・知人
d) 市(区) e) 警察 f) 町内会
g) 学校・幼稚園・保育所 h) その他

ウ) 印刷物(ビラ・チラシ・回覧板など)を見た

→このチラシですか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。

a) 市(区) b) 警察 c) 町内会
d) 学校・幼稚園・保育所 e) その他

エ) 市(区)のホームページを見た

オ) マスコミで知った

→次のどれですか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。

a) テレビ b) ラジオ c) 新聞 d) インターネット
カ) ヒグマについての学習会で聞いたことがあった

キ) その他

問 3 ヒグマの出没を知ったとき、あなたはどのように感じましたか。簡単に書きます。

問 4 (1) ヒグマが出没した時の市(区)や警察の対応の仕方に満足していますか。

- a) 満足 b) どちらかという満足 c) どちらとも言えない
d) どちらかという不満 e) 不満 f) どのような対応をしたのか知らない
(2) 市(区)や警察の対応の仕方で特に満足している点・不満な点があれば書きます。

問 5 を飛ばして問 6 にお進み下さい。

日頃の行動についてお聞きます。

問 5 あなたの家や家庭菜園、農地などの周辺にヒグマが出没するおそれがあると思いますか。

- a) いいえ b) はい →日頃、そこでヒグマの出没に備えて何か対策をとっていますか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。
ア) 鈴・ラジオ等の音 イ) 刃物等の武器 ウ) 犬 エ) クマスプレー
オ) ごみの始末 カ) 電気柵 コ) 何もしない ク) その他

問 6 あなたは仕事や山菜採り、登山、散歩などで山に入ることがありますか。

- a) いいえ b) はい →ヒグマとの遭遇に備えて何か対策をとっていますか。当てはまるものすべてに○をつけて下さい。
ア) 鈴・ラジオ等の音 イ) 刃物等の武器 ウ) 犬 エ) クマスプレー
オ) ごみの始末 カ) 何もしない コ) その他

問 7 あなたはヒグマについての講演会や学習会に参加したことがありますか。

- a) いいえ →なぜですか。1つだけ○をつけて下さい。
ア) 必要ない イ) 参加したいが、機会がない ウ) その他
b) はい →役に立ちましたか。ア) いいえ イ) はい ウ) どちらとも言えない

問 8 今後ヒグマについての学習会が開催されるとしたら、あなたは参加しますか。

- a) いいえ b) はい →次の問(1)(2)にお答え下さい。
(1) どのような規模がよいと思いますか。よいと思うものすべてに○をつけて下さい。
ア) 市全体の学習会 イ) 区単位の学習会 ウ) 町内会単位の学習会
エ) 20～30 人ぐらいの学習会 オ) 数人の知り合いだけの学習会
カ) その他

(2) 学習会でどのようなことを知りたいですか。次の 7 つの中から 4 つ選んで○をつけて下さい。

- ア) ヒグマの生理・生態 イ) 札幌周辺のヒグマの生息状況
ウ) ヒグマ出没の要因 エ) ヒグマ出没の予防法
オ) ヒグマとの遭遇の予防法 カ) ヒグマと遭遇したときの対処法
ク) その他

問 9 あなたは市(区)のホームページでヒグマの情報を見ることがありますか。

- a) いいえ →なぜですか。1つだけ○をつけて下さい。
ア) 必要ない イ) ホームページがあることを知らなかった
ウ) インターネットを使わない エ) その他
b) はい →役に立ちますか。1つだけ○をつけて下さい。
ア) いいえ イ) はい ウ) どちらとも言えない
→市(区)のホームページについて何か要望があればお書き下さい。

次に、行政の対応について、あなたの考えをお聞きます。

問 10 日ごろからの対策として行政が行うべき事は何だと思えますか。次の (1)～(7) のそれぞれについて、あなたの考えに近いものに 1 つだけ○をつけてください。

- (1) ヒグマの生態や対応方法について住民教育をする
a) 行うべき b) どちらかという c) どちらとも言えない d) どちらかという e) 行うべきでない
行うべき 行うべきでない
- (2) 生ごみや農産廃棄物をきちんと管理するよう住民を指導する
a) 行うべき b) どちらかという c) どちらとも言えない d) どちらかという e) 行うべきでない
行うべき 行うべきでない
- (3) 春のうちにヒグマを山で捕獲して頭数を抑える
a) 行うべき b) どちらかという c) どちらとも言えない d) どちらかという e) 行うべきでない
行うべき 行うべきでない
- (4) 山でのヒグマの食料や森の面数を増やす
a) 行うべき b) どちらかという c) どちらとも言えない d) どちらかという e) 行うべきでない
行うべき 行うべきでない
- (5) 人身事故や農産被害などに対する補償制度を整備する
a) 行うべき b) どちらかという c) どちらとも言えない d) どちらかという e) 行うべきでない
行うべき 行うべきでない
- (6) 電気柵など予防措置をする人に物的・資金的な援助をする
a) 行うべき b) どちらかという c) どちらとも言えない d) どちらかという e) 行うべきでない
行うべき 行うべきでない
- (7) 札幌市内のヒグマの生息数・行動範囲・出沒要因などを調査する
a) 行うべき b) どちらかという c) どちらとも言えない d) どちらかという e) 行うべきでない
行うべき 行うべきでない

問 11 札幌市は昨年 10 月、ヒグマの専門部署をつくるという方針を発表しました。あなたはその部署にどのようなことを期待しますか。自由にお書き下さい。

次に、ヒグマについて、あなたの考えをお聞きます。

問 12 あなたは人の住んでいない所にヒグマがいることについてどう思いますか。あてはまるものに 1 つだけ○をつけ、そう思う理由をお書き下さい。

- a) 絶滅すべき
- b) いない方がよい
- c) どちらとも言えない
- d) いた方がよい
- e) いるべき

理由

問 13 あなたはヒグマが人の住んでいる所に出て来ることについてどう思いますか。あてはまるものに 1 つだけ○をつけ、そう思う理由をお書き下さい。

- a) 絶対許せない
- b) 出てこない方がよい
- c) どちらとも言えない
- d) 出て来てもよい
- e) 出て来るのが当然

理由

最後に、あなたご自身についてお聞きます。

問 14 年齢 歳 性別（どちらかに○） 男 女

家族（あなたを含めて） 人。そのうち小学生までの子どもは 人。

問15 職業

- a) 会社員・公務員・団体職員・各種従業員
- b) 商工業自営
- c) 農業自営
- d) 林業自営
- e) 漁業自営
- f) 学生・生徒
- g) 無職
- h) その他

問 16 あなたは次のものを持っていますか？ あてはまるものすべてに○をつけて下さい。

- a) 田
- b) 畑
- c) 果樹園
- d) 牧場
- e) 蜂の飼育箱
- f) 家庭菜園

問 17 現在の住所より以前に、ヒグマの出没する市区町村に住んでいたことがありますか。

- a) いいえ
- b) はい →市区町村名 時期 年ぐらい前まで。

そこでヒグマに関して経験したことなどがありましたらお聞かせ下さい。

問 18 このアンケートの結果をまとめた印刷物をご希望になりますか。

- a) いいえ
- b) はい →まとまり次第お送りします。

問 19 当研究室ではヒグマについての学習会（大規模なものからごく小規模なものまで）を実施することが出来ます。会場を用意していただければ無料で実施します。ご希望の方は連絡先をご記入下さい。（他の目的には絶対に使用しません。）後日、当方からご連絡差し上げます。

お名前

ご連絡先電話番号

または電子メールアドレス

問 20 ヒグマにまつわる体験談、伝聞、日頃感じていること、市（区）や道のヒグマ対策や住民対応へのご意見、ご提案、またこのアンケート調査へのご意見などありましたらお聞かせ下さい。

ご協力ありがとうございました。

Five National News Programs on the Great East Japan Earthquake 2011

Margit KRAUSE-ONO^{*1}

(Received 28th June 2013, Accepted 24th January 2014)

Abstract

This study compares the television reporting of the Great East Japan Earthquake/tsunami in equivalent news programs of five different countries (Japan, the UK, Germany, France, and the U.S.A.) on March 11 and 15, 2011. Use of the KJ method finds the content and its presentation in each news program are closely linked to the cultural styles of each region. The relationships of the visual (static, in movement, animated, etc.) and the oral (announcement, report, interview, off-voice narration, etc.) are partially taken into consideration for the news examined. The comparison's aim is to elucidate the focus of the news content and its linguistic and visual presentation which are biased by cultural norms and assumptions

Keywords: communicative style, cultural style, TV news programs

1 INTRODUCTION

In 1985, Galtung described academic styles he had personally encountered and divided them into Gallic, Teutonic, Saxonian and Nipponic styles, each of which he theorized, encompasses a core region and its periphery. The styles he described have been further researched by others and were also found in domains other than academia. Schroll-Machl (2002) and Nees (2006) found the Teutonic communicative and cultural style to be marked by seriousness, directness, analysis and thoroughness. Kainzbauer (2002) found the Saxonian communicative and cultural style to be more focused on empirical data, diplomatic (indirect), communicative, relationship-building, and pragmatic and Muench (1990) added (especially for the U.S.) to be purpose-driven, with quick changes and oriented towards popular taste. Yamashita (2003) found evidence for the Nipponic style to be focused on social relationships, on uniting differences, and on displaying vagueness to avoid confrontation while Barmeyer (2000) found the Gallic (French) style highly esthetic,

theory-oriented, relating polarizing arguments through 'verbal elegance'. In Mijnd Huijser's 'The Cultural Advantage' (2006) and 'Managing Mindsets' (coauthored with Danae Huijser in 2011) a differentiated portrayal of all the styles is given within several international companies.

By comparing prime-time TV news broadcasts from these five countries, this study attempts to shed light on a portion of these different communicative styles which might emerge in the oral and visual presentation of the evening news. As broadcast news is always selective and chosen according to well researched criteria (Maier et al, 2010), the common topic of the Great East Japan Earthquake in March 2011 was explored, which although it may be sensational, was reported on for more than a week.

No matter how similar news programs from different parts of the world might seem to be, they still have different communicative styles and different priorities in their content. Bolten (2002) has demonstrated that communicative styles are in themselves cultural styles, subtly showing the values held important in a given culture. This study aims to show a) cultural norms are unconsciously perpetuated in the form of communicative styles in the media, which while being part of their respective cultures at the same time link to other cultures

^{*1} College of Liberal Arts, Muroran Institute of Technology

and b) the same media are influenced by those other cultures.

2 METHOD

Various nations' television broadcast news covering the Great East Japan Earthquake and the resulting tsunami and nuclear catastrophe was used as it was the center of interest around the world at that time. A week of reporting about this event has been gathered from five countries (Japan's NHK News7, the U.K.'s BBC News at Six, Germany's ARD Tagesschau, France's TF1 LE20H, and the U.S.'s ABC Evening News) in order to compare and analyze their contents and presentation (linguistic, visual, and cultural).

More than a year of extreme difficulties in obtaining copies of the Japanese NHK and the BBC News about the Great East Japan Earthquake/tsunami caused a delay in analyzing this topic, but it has lost none of its impact. The German and French news programs were downloaded from the internet and the ABC Evening News could be borrowed from the Vanderbilt University News Archive. The news programs chosen for each country are all well-known and have a reputation of credibility and long-standing. Except for ABC they are the most watched news programs in their respective countries.

The entire news broadcasts were transcribed by the author and by collaborators, including captions and sub-titles etc. The author then measured the length of time allotted for each news sequence about the catastrophe in each news program, as well as the length and type of prevalent shots. Building on previous findings concerning NHK, the BBC and the Tagesschau (Krause-Ono, 2012) the cultural styles of news presentation, such as the non-verbal and paraverbal elements of communication, as well as the ways of interacting between newscasters, correspondents, experts etc. will be especially referred to for the French and American news. To find the overall focus or frame of the presentation of each news program the KJ method of Kawakita Jiro (1986) was used, including looking at the repetition of keywords, clusters or related words.

By comparing the above mentioned facets, the different frames and foci of the event become apparent, as well as the different communicative styles of the news programs. In this paper, translations by the author are marked (*).

On the first day of the catastrophe, the visual material

is mostly provided by Japan and all the news programs chose from it. The news of this first day, March 11, will be contrasted with the news of four days later, March 15.

3 THE NEWS OF MARCH 11, 2011

3.1 Japanese NHK News7 March 11, 2011

Japan is 8 to 9 hours ahead of Europe and 13 to 17 ahead of the US. The quake happened at 14:46 Japan time. Roughly four hours later the normal evening news would have been aired, however, NHK disregarded regular programing and continually broadcast about the catastrophe. As there was no official start of that day's News7, a total of 60 minutes was analyzed beginning from the usual news time of 7 p.m..

As can be seen from the following keywords, the NHK program gives repetitive information in bits and pieces without apparent priority. Except for Edano's press conference, which seems to call for action, there is no report about any actions being taken. Everywhere things happen to people, much reporting about individuals, schools and certain buildings, quake damage and the tsunami rolling inland. The message is, we have to share this, everywhere is important, and Tokyo is the center. The screen is full of subtitles: below, top left, top right, also on left side. Sometimes the upper part is a moving band of news reporting about individual deaths, new tsunamis or quakes, their degree of strength and location. Bottom right a small map of Japan with alert stages for tsunami is visible, coast lines blinking in colors indicating the varying heights of an expected tsunami. The keywords are: 地震 "earthquake" (82, 45 in subtitles), 津波 "Tsunami" (80, 10 in subtitle), 福島 "Fukushima" (76, 43 in subtitle), 東北 "Northeastern" (66, combined with area, region, electricity), 仙台 "Sendai city" (47), 宮城 "Miyagi Prefecture" (44), 中継 "live" (41), 警報 "alert, warning" (35), 避難 "refuge, evacuation" (32), 東京 "Tokyo" (31 plus 11 in subtitle), バス "bus" (27), 対応 "tackle, deal with" (25), 建物 "building" (24), 伝えします "report/ed" (23), 観測 "measured" (19, 1 in subtitle), 青森 "Aomori Prefecture" (17), 火 "fire" (16), 緊急事態 "state of emergency, crisis" (12), 河口 "river mouth, estuary" (12), 東京電力 "Tepco" (11), 海岸 "coast" (11), 繰り返して "repeat" (11), 停電 "power shutdown" (10).

The news consists mainly of visual reports in voice-over by correspondents and anchor Takeda. The

latter is visible only three times, in medium close-up sitting in a light-blue suit and necktie at a desk. The visual reports move back and forth between places such as Sendai, Fukushima and other smaller locations damaged by the quake/tsunami, and the transportation situation in Tokyo for 58% of the time. The shots' lengths are between ten and seventy seconds or more. The camera is often static or moves slowly, zooming in and out. The voice-over often repeats information about bus transportation in Tokyo and describes what is currently visible on screen. Voiceovers of reports about various separate incidents such as deaths or injuries of individuals are given while showing non-related shots, such as damage caused by the quake. Three times scenes of the tsunami are shown, taking 10% of the news time. In-between, newscaster Takeda appears in medium close-up in the studio and reports for 2 minutes at high speed with forward moving head movements. The reports cover Fukushima Daiichi, the non-working cooling system and Tepco's report to the government of a state of emergency.

Chief Cabinet Officer Edano's press conference is shown mid-way, lasting for nearly seven minutes. He announces nuclear emergency status, stating proper procedures are being undertaken, people should stay calm, things will be taken care of, and no radiation leaks have been detected. Edano repeats this news several times during the press conference. The content is again repeated by Takeda in voice-over, and once again in a mostly voice-over interview with correspondent Yamazaki from the Science and Culture Department of NHK, where the reason for declaring emergency status is downplayed: "dating back to a decision made in 2001 after an incident at Tokai Nuclear Power Plant" (*) while shots of the Fukushima plants are shown, looking nice and proper. Shots of the Fukushima or Onagawa plants are shown for nearly 22% of the news time.

3.2 BBC News at Six of March 11, 2011

The BBC spends 46% of its 30 minute 40 second news program on the catastrophe in Japan. The focus of the program is on the immenseness of the quake/tsunami and the resulting helplessness expressed by the keywords, as well as accompanying phrases, e.g.: ordeal, chaos, could only watch, trapped, claimed the lives of so many, greater horror, terrifying, crushing, tossing, swept up, swept away, absorbed, immense, long history of battling with the forces of nature. Shots and tone of voice are partly emotion-seeking. Although the nuclear emergency is mentioned three times, it is

rather downplayed as it is always mentioned that the reactors shut down automatically. The keywords are: Japan (used 25 times, 8 in writing), quakes (23, 12 in writing), earthquake (17), tsunami (15, 4 in subtitle), fire (9, 1 in subtitle), hit/s (9), dead/deaths (7), thousand/s (7), devastation (6), huge (6), wave/s (5), disaster (5), struck (5), collapse (5).

The introduction is sudden and attention-grabbing showing 8 shots of the tsunami sweeping in, a sea whirlpool, and fires. Newscaster Bruce reports in voice-over: "Several fires have broken out... A nuclear emergency has been declared as reactors have automatically shut down. There have been more than 50 aftershocks. The quake was 8000 times more powerful than the recent one in New Zealand." The comparison to the New Zealand quake is much more strongly emphasized than the report about the nuclear emergency, which is also justified by an automatic shutdown. On this first day of the news distance in km was not correctly changed into miles.

The main report is divided into themes such as 'The Quake', 'The Tsunami', 'Infrastructure' and 'Transport' with female reporter Kendall in voice-over describing the scale of the quake and tsunami pictures shown. An Englishman living in Tokyo also tells in voice-over how he feared he would die. In the 'Tsunami' part, PM Kan is shown in medium close-up and translation: "...I offer my deepest sympathy to the people who have suffered the disaster." Reports about huge fires and another mentioning of: "There were also, worryingly, incidents at two nuclear plants. They shut down automatically when the tremors began, but a small blaze started in the turbine hall of one and the cooling system failed in the other. Local residents were evacuated as a precaution." This is accompanied by shots of Fukushima nuclear plants. It then continues about broken or swept away roads, the Sendai airport, and stranded people in Tokyo. Kendall summarizes in voice-over: "As nighttime fell, fires were still breaking out ... Rescue teams reported they'd found hundreds dead in Sendai...Many people are still missing. Aftershocks have continued. On this day of catastrophe, the scale has been so immense; it is hard to absorb it all." The initial 13% of news time are very intense and crude. Most of the shots are shown for at least 4 seconds, many for longer. Tokyo correspondent Buerk in medium close-up gives tidbits of the disaster: "... It is these little glimpses, pictures of what is happening in very local areas that can give us an idea of what's happening in the wider area. ..." He emphasizes that the death toll is bound to rise.

For 8% of the news time Science Correspondent Shukman in studio uses colloquial words to explain the causes of the catastrophe with graphs and simulations. He illustrates the many quakes Japan experienced since 1900. In-between he is briefly scientifically backed by an expert emphasizing the enormous amount of energy released. Bruce then announces there will be special programming on BBC tonight plus news on a website always available. After news about other events, another nearly 8% covers the Japan quake, showing a Japanese amateur film from YouTube taken with a mobile phone. This is followed by shots from official Japanese sources, again stressing the magnitude of the disaster.

3.3 German ARD Tagesschau of March 11, 2011

The Tagesschau of March 11, 2011 totals 20 minutes 12 seconds, 5 minutes longer than usual. The catastrophe in Japan is covered for 54% of the time. Clearly the main focus of the news presentation is already on Fukushima nuclear plants with concerns of a possible meltdown. Of the keywords, 24% are Fukushima-related, and only 12.4% are about the actual quake and tsunami catastrophe. The keywords are: Japan (used 20 times), Beben “quake” (10), Menschen “people” (10), japanisch “Japanese” (9), Tsunami (9 including warnung, welle), Atom (9, eg. Atomkraftwerk “nuclear plant”), Welle/n “wave/s” (7), Erdbeben “earthquake” (7), Reaktor (7), Fukushima (6), Gefahr “danger” (6), kuehl “cool-related words” (6, eg. Kuehlssystem “cooling system”, Kuehlanlage “cooling facility”, gekuehlt “cooled”), Kernschmelze “meltdown” (5), Nachbeben “aftershock” (4), zerstoert “destroyed” (4), Katastrophe (4).

The broadcast gives a very serious, seemingly neutral and reserved kind of presentation. The newscaster’s nearly motionless and calm reporting has been described in Krause-Ono (2012). It is unusual that three shots are shown before the newscaster appears who summarizes in voice-over what has happened and then continues in medium close-up: “...Caused by the catastrophe, troubles occurred in nuclear plants. It is said that no radioactivity has leaked.” (*). For 10% of the total news program, long and very long shots of the catastrophe, quake, tsunami, fires, destroyed areas and infrastructure are shown without focusing on any living being. The next 10% focus on the cooling problems in Fukushima, the 3-km-evacuation zone, and Edano’s press-conference. Female correspondent in voice-over: “A speaker tries to calm the citizens. The evacuation is only a precaution... However, the problems at the

reactor seem to be serious. According to the Japanese NISA the cooling water level in the reactor is dropping. This can lead to an overheating, in the worst case to a meltdown. It has not happened yet, however agencies report that the cooling system is without power and runs on an emergency device.”(*)

In an extensive and fact-loaded 10% of news time Japan’s geological situation and the probable mechanism of quake and tsunami are explained, followed anew by nearly 9% of news time about Fukushima. Newscaster in medium close-up: “... However, Roettgen does not want to exclude that a meltdown in the Japanese nuclear plant Fukushima is, in the worst case, possible.” (*) An expert says: “In case of a real meltdown this would be after Chernobyl the worst case we have had.... Now everything depends how successful the emergency measures will be. Either nothing happens or we will have a meltdown.”(*) Newscaster in voice-over explains that despite immediate shut-down of reactors, because of the heat; there might be a catastrophe if it is not cooled down. “Federal environment minister Roettgen too deems a meltdown possible.” (*) Roettgen in direct: “After all what we know we can exclude any radioactive influence on Germany. This is due to the great distance to Japan as well as to what we know about the actual weather.”(*) At the end of the Japan-related news Chancellor Merkel is shown expressing her sympathy and assuring help. The newscaster concludes all news with a brief reference to the following special program on the catastrophe in Japan.

3.4 French TF1 LE20H of March 11, 2011

The broadcast lasts 42 minutes 6 seconds, about 10 minutes longer than usual, with quake and tsunami related news comprising 80% of the time. TF1 has no special program that evening; the catastrophe is reported on only in the news program. In total 15 correspondents and journalists (two are colleagues from other media) report in one to three minute-slots: nine about the actual disaster in Japan and the past quakes in Tokyo and Kobe comprising 57%, and six on the impact on Pacific-bordering countries and past tsunamis in Hawaii and Indonesia, comprising 23%. Eleven of the correspondents/journalists are only heard in voice-over, three are partly visible in split screen, and the science correspondent both in voice-over as well as in the studio. Before each of those fifteen reports, newscaster Clair Chazal (CC) gives an average

20 second overview of the news to come and announces the name of the reporter.

Fukushima is mentioned by CC literally only once in the beginning of the news. The shots portray the immensity of the tsunami and the catastrophe is reported on from different angles. The link to surrounding countries as well as to previous catastrophes in Japan and in the region is done thoroughly in text as well as in shots. To link close and far, immensity and facts, present and past seems to be one of the major underlying principles.

The keywords underline the focus of the program on the catastrophe linked to past ones. Variations of nouns, accompanied by adjectives or participles, contribute to the eloquence of the reports, supported by accented narration. The keywords are: séisme “quake” (39), tsunami (38, 9 in subtitle, 7 directly related to actual catastrophe, others to bordering countries or past tsunamis), Japon (36, 16 in subtitle), vague “wave” (34, 14 about the actual disaster), tremblements de terre “earthquake” (23), alerte “warning” (23), japonais “Japanese” (13), victime (11), secousse/s “aftershock/s” (11), personnes (10), magnitude (9), passage (8), océan (8), eau “water” (8), bateau/x “ship/s” (7), catastrophe (7), provoqué (7), sismique “seismic” (5, 2 anti-seismic), raz de marée “tsunami” (5), gigantesque “giant” (5), frappé “hit” (5), réplique “aftershock” (5).

The newscaster’s non-verbal and para-verbal communication contrasts with the German. In medium close-up CC is sitting dressed décolleté at the immense studio’s desk, which seems to be the middle of an intersection of several roads. Her facial expressions, as well as tone of modulation, are animated. The nodding of the head starts from the shoulders/neck, supported by movements of the upper body, underlining what is verbally expressed. The head is often tilted halfway to the right, showing left side to audience, with eyes directed directly towards the camera. CC addresses the audience with ‘vous’, polite ‘you’. She uses expressions such as: ‘essayons’ (Let’s try to..), ‘Je vous le rappelle’ (I remind you of), ‘vous le savez’ (you know (it)) ‘on a compris’ (we have understood), ‘vous avez compris’ (you have understood), ‘on rappelle’ (one remembers). CC in studio reports combined with audience-orientation. The two online interviews are in ‘vous’, calling one by first name once, thanking in both cases by saying full name. At the end of all reports the correspondents’ names appear in subtitle.

The broadcast begins with fanfare, medium shots of the quake are shown without any voice-over for 16 seconds,

followed by one minute of shots of the tsunami, devastation and big fires while CC gives facts and figures in voice-over, thus relating contrasting the emotional impact and rational reporting.

A strong 9% portrays the intensity of the quake/tsunami. The text in voice-over is spoken by two correspondents in a very dramatically intense way. Voices start out deep and calm, gradually becoming quicker, reaching a climax and again becoming softer and slower. Reports on the devastation, on big fires (one minute of consecutive shots of night fires are shown), on rescues, on survivors in camps, on training for earthquakes, and the probable death toll on the northeast coast follow. The calmness of the Japanese is stressed three times in different reports, which is also underlined by the in total four interviews of Japanese in Tokyo. They appear in medium close-up and three of them seem to smile.

Experts in French institutes give the scientific explanation for quake/tsunami. A two minute discussion between CC and scientific correspondent Fabrice Collaro takes place in the studio. They sit diagonally opposed at the above mentioned desk. The (non)-verbally animated talk is accented by continued switching of camera-angles, going from Collaro in close-up back to CC, again long-shot of both, then zooming towards them, etc. Collaro stresses the actual quake being 900 times stronger than the one in Kobe. In following reports the high standard of Japanese quake-resistant architecture, infrastructure, and tsunami warning system is stressed.

Drastic shots of the immense tsunami of 2004 are shown, again accompanied by numbers and facts given in voice-over. Lastly, President Sarkozy expresses his sympathy and offers help. CC also reports about a cultural event, which will raise money to support victims in Japan.

3.5 American ABC Evening News of March 11, 2011

The news program is 28 minutes 36 seconds long, including 6 minutes and 32 seconds of advertisements. Of the actual news time 96% is related to the disaster in Japan.

Newscaster Diane Sawyer stands in studio, in medium close-up with only herself and half of the screen wall visible. She keeps her chin back, half looking up to the camera with shining eyes, bobbing her head often. More than the keywords, the language and presentation are revealing. Short sentences are used to maximize emotion-catching, emotion-building and attention-seeking. Many verbs are used, appealing to

people's emotions and emphasizing empathy with the Japanese. The keywords are: earthquake (25), tsunami (19), nuclear (16, with plant, expert, accident etc.), disaster (9), backup system (7), melt down (3)

The introduction with Sawyer in distinct, slow and much accented voice-over has three parts: quake/tsunami "roaring as fast as a jumbo jet", nuclear fear "with the volcanic heat from the reactor rising", and survivors "people made it through the worst to a reunion within the arms of those they love". The shots are close, often medium close-ups and change quickly (3 seconds or less). Instead of cuts, there is a quick sliding in of new shots. Sawyer, in full body medium shot, dressed in black suit and red high-necked blouse, stands on a map of the Pacific showing Japan, the main points appear on screen wall. On the right rear, an office is visible.

The main news starts off with scenes of the tsunami, vividly and metaphorically described by Sawyer inviting audience to watch: "... the tsunami, racing at the speed of a jumbo jet... You can see it... You can see... Those are cars riding the rapids, apocalyptic scenes... And a nuclear power plant suddenly finding itself without backup pumps to cool the 3400 degree uranium in the reactor core."

In total there are five correspondents, two interviews of Americans living in Japan, and one amateur video by a young Japanese. Two experts are interviewed and one physicist is in the studio with Sawyer.

The first correspondent reports in voice-over about the earthquake/tsunami for 16% of the time, calling on the audience to watch and stressing the reality of shots: "Fresh pictures..., you can see the fear and incomprehension.... This is the real thing. ... You are seeing live footage of the tsunami engulfing the port... This is what is happening right as we speak.... Watch as this... To get a sense of the scale of this thing, check out this lone man... Or look at this boat, ..."

In two interviews Americans living in Japan describe their feelings. Next, the path of the tsunami to Hawaii and the American West Coast is documented by numerous tweets; of which some emotional ones are presented. Hotlines are introduced and references to Google, Facebook and Twitter to search for people who may have been affected. The news up to here comprises 45% of time.

This is followed by a 20% time-slot about the Fukushima nuclear plant with a new correspondent, Cuomo. He explains in voice-over a simulation of the cooling system of a reactor using an alarming tone and mentioning meltdown. Three Mile Island is mentioned,

where a meltdown happened, but tragedy was avoided. Cuomo is shortly sitting in studio reporting about backup power still lacking. A physicist sits with Sawyer at a table, and explains with colored blocks the effect of insufficient cooling water, which could lead to a meltdown within 30 minutes.

A Japanese correspondent in Tokyo being asked by Sawyer "What have you seen in the faces of people?" replies: "...Japanese like to believe they are very prepared for earthquakes." and stresses the constant aftershocks and feeling of dizziness. A report follows about the west coast of America, where a mini-tsunami had arrived. The correspondent praises Japan's advanced warning and protection system, and quake-resistant constructions.

In conclusion Sawyer refers to a special program that evening and says: "Earlier today the President reminded all of us that events like these simply reinforce our certainty that we share one planet, bound by our vulnerabilities. So we leave you tonight with some snapshots of people so much like all of us here at home." For 42 seconds, ten pictures of Japanese are shown with only music heard.

4 SUB-CONCLUSION 1

On March 11 all five programs had little preparation time, reporting on the same content and using many of the same visuals provided by Japanese media. However, even on this first day the focus of each broadcast is quite different. In the Japanese NHK program information is given repetitively in bits and pieces without apparent priority and no ending. Fukushima is covered for 22% of the time without mentioning any meltdown. BBC's focus is on the immensity of the disaster and people's helplessness, downplaying Fukushima although mentioning it. The German Tagesschau, however, already focuses in a serious manner on the Fukushima non-cooled nuclear power plants, several times mentioning a possible meltdown. The French TF1 strives in eloquence to cover the whole disaster, linking it to Pacific-bordering countries as well as to past disasters. Fukushima is not covered. The American ABC reports sensationally and emotion-seeking on the disaster, also mentioning a possible meltdown in Fukushima, stressing that all people are equal.

5 NEWS OF MARCH 15, 2011

5.1 Japanese NHK News 7 March 15, 2011

News7 starts at 7 p.m. and continues for several hours. For this analysis only the first hour is analyzed. As can be seen from the keywords, the main subject is the situation of the Fukushima plant, which is covered in the first half of the news. During this time 200 ‘uhs’ are accumulated, indicating the intention not to say too much. The focus of the second half is on people: evacuated, rescued and reunited ones. The keywords are: あのー “uh” (103), 避難 “take refuge, flee” (as refugee camp, refugee life) (97, 20 in subtitle), えー “uh” (71), Fukushima (as Fukushima Daiichi / prefecture / part of address etc. (90, 20 in subtitle), 原発 “nuclear power/plant” (25, 23), 放射 ... “radioactive” (... something) (46, 13), 住民 “citizens, inhabitants” (36, 6), まー “uh” (29), 退避 “seek shelter” (28, 6), 爆発 “explosion” (23), 影響 “influence” (onhealth, body etc.) (20, 4), 爆発 “explosion” (19, 3), tsunami (15, 1), 救助・救出 “rescued (15), おー “uh” (15), 不安 “worry, scared” (14), Miyagi (prefecture) (12+19), 原子力 “nuclear power” (plant, committee) (13), 被害 “harm, got harmed” (13), 圧力 “pressure” (chamber) (13, 13), 計測 “measured” (9, 2), 火災 “fire” (8, 3), 核燃料 “fuel rods” (9), 寒 “cold” (9), 冷 “cool/ing” (system etc.) (8), 事故 “accident” (7), 情報 “information” (7 + 3).

The news starts with a 45 seconds close-up of a young man rescued after 96 hours, immediately followed by a still picture of Fukushima nuclear power plants, where new troubles occurred. Then follows the usual introduction with fanfare, the emblem News7 slides in and newscaster Takeda appears standing at a desk. The date of March 14, Monday appears in subtitle, which is the date of the day before. Takeda shows a grave face, while behind him a huge still picture of the Fukushima plants looms. His body sways a little and he reports about the new troubles at the plants, now concerning Reactor 2 and 4. The evacuation zone is now 20 km, plus a 10 km stay-indoors zone. This is repeated several times. Next, Prime Minister Kan addresses the people in a press conference, asks them to stay calm but also adds that radiation might rise. His spokesperson Edano stresses that radioactivity, although still high, is now lower. The special headquarters which had been set up close to the plant has had to evacuate to Fukushima city. People/towns are asked to take in evacuees from the 20 km zone. With a map of the area shown behind him, newscaster Takeda interviews the mayor of Minami-Soma, which is located within the 30 km stay-indoor zone. The interview is mostly in voice-over and carries on for four minutes. The mayor explains

and complains about the situation and pleads to relieve the inhabitants of their fear, being triple-hit by quake/tsunami and now the radiation. The interview is followed by a 10 minute in-studio discussion among newscaster Takeda, a professor of Tokyo University and a scientific correspondent standing in front of a simulation of the internal workings of a reactor, reluctantly explaining, with many ‘uhs’ mainly uttered by the professor, what might have happened in the reactor without saying what consequences this might have, except for the advice to shower off radioactive particles in case one gets wet. The Fukushima-related news is covered for 33 minutes or 55% of the time. Then follows medium and close-up shots of devastated areas and of one survivor rescued after 96 hours. The next part is about refugee camps, a voice-over interview by Takeda of a person in charge of a camp about what people need, what would help. After the interview is a voice-over report by Takeda about people looking for relatives, about reunions, directly or by phone, of people who had been separated. This is always accompanied by medium shots, (medium) close-ups, which are all shown for a minute or longer. People are united in grief and also worry, although the news tries to minimize the latter.

5.2 BBC News at Six of March 15, 2011

The total broadcast lasts 29 minutes 47 seconds, with 53% on news of Japan. Newscaster and reporters in medium close-up, or on site, are shown for 31% of the time on Japan. Actual scenes make up only 12% of the time. Fukushima is the main subject, with many shots of the damaged plants shown. Although a possible meltdown is mentioned, it is stressed that nothing is known with certainty. The same is said for possible radiation risks, which are played down by comparing them to X-rays or CT scans. In general, the report about the situation in Japan remains opaque (we have no hard info, here is what we think happens) with no special focus on Reactor 4. The camera work of today’s news, however, is very static: no zooming, hardly any close-ups. This stresses the seriousness of what is said and enhances the appearance of rationality and neutrality.

Prevalent keywords and phrases also reflect the emphasis on (uncertain) facts: radiation (used 25 times, 2 of them in subtitle), level (16, often with radiation, 2 in subtitle), nuclear (15, 3 in subtitle), reactor/s (13), plant/s (13, 2 in subtitle), disaster (10), tsunami and earthquake (9, mentioned together), risk/s (9, 2 in subtitle), Fukushima (9), health (9, 2 in subtitle)

‘Health Risk’), concern (8), explosion/s (7), danger (7), dangerous (7), radioactive (6, with material or particle), cool (6), cooling (5), exclusion zone (5, 2 in subtitle), threat (5), fear (5), rain (4).

After an overall introduction of the news, which starts with the news about Japan “Japan from a nuclear disaster.....the Prime Minister Kan appeals for calm” the actual news starts with “...the biggest atomic plant is STILL causing concern four days after ...” Newscaster Edwards, standing in medium shot in studio wearing suit and necktie, explains with animated facial expressions the situation in Fukushima for one minute. This is followed by five reports about Japan under various headlines.

The correspondent in Tokyo reports in voice-over and on scene about “...reactors, broken, overheating, at risk of melting down.”, the exclusion zone, testing for radiation and about the Japanese PM who tries to reassure people and appeals for all to act calmly. Impressions of apparent Japanese calm seem to have an undertone of worry and are interspersed with an interview of a British father wanting to send his family to Britain, but unable to leave himself.

The second report is by Science Correspondent Shukman in studio concerning the situation in Fukushima: “Getting hard information about the fate of the power stations is proving really difficult, but here’s what we think is happening.” “....maybe a partial meltdown. We just don’t know.” Mainly pictures of Fukushima and simulations of reactor functions are shown on the screen wall. “There are doubts about the power company’s ability to cope. The Japanese PM has taken charge and American experts are on the way.” This last information is mentioned three times in the overall news. Also US Energy Secretary Chu appears with a short explanation.

The third report is by a correspondent in the northeastern city of Sendai about radiation danger there. Very slow camera work and 25 seconds of close-ups of raindrops which might contain nuclear particles. “Unlike the previous disasters, you can’t see it or hear it coming.” This is repeated again in the same report and stressed by the sentence ‘...if more invisible radiation is released...’ A half minute interview of a Japanese mother is added to illustrate how people try to cope with the situation, seemingly calm, but worried.

The fourth report is given by the Medical Correspondent in studio. He explains on the screen wall different radiation levels caused by the explosions of the reactors, comparing the levels to natural radiation but never commits to stating what a dangerous level

might be: “...we’re lacking precise evidence about the amount and type of radioactive material. But none the less, experts suggest the threat to the Japanese public is low.” The figures are compared to the one of a chest X-ray or of a CT scan, which nobody would refuse, using an interview with an expert for the latter as backup. Further comparison to Chernobyl is made in order to downplay the danger. The “wider psychological stress caused by the nuclear leak should not be underestimated.”

Here the continuous beginning news about Japan ends. A fifth report on Japan is given for 96 seconds or 5% of time just before the concluding British weather report. It focuses again on Fukushima and radiation leaking: “Japanese engineers hope to avoid a meltdown at the Fukushima Plant...” He also adds: “The fact is the government has done pretty well in most people’s estimation, of handling this crisis, but the nuclear issue is causing a lot of concern.” And concern is one of the keywords which extends to all disturbing aspects of this catastrophe.

There is one mention of a survivor, rescued after 96 hours, and about the presence of a British rescue troop (60 people), but no mention at all of British nuclear plants.

5.3 Tagesschau of March 15, 2011

The news is 14 minutes 52 seconds long, of which 56% is related in some way to the catastrophe in Japan. The keywords used in this broadcast illustrate that the focus is completely on nuclear subjects: covering the situation in Fukushima, the domestic moratorium on nuclear power, and the discussion about common safety standards for nuclear plants in the EU. The reports appear distant and neutral, which is underlined by the usage of mostly long shots. The wording seems to euphemize domestic nuclear plants by mostly calling them AKW, Meiler or Kernkraftwerk as opposed to Atomkraftwerk for Fukushima and other European plants.

The keywords are: Atom-related words such as: Atomenergiebehörde “IAEA”, Atomkraft “nuclear power”, Atomkraftanlage “nuclear plant”, and atomar “nuclear” are used 12 times. Atomkraftwerk (used 8 times, with 4 related to Fukushima), Reaktor (8), japanisch, Japaner “Japanese” (8), Japan (7), Fukushima (6), Kernkraftwerk(e) “nuclear plants” (5), Meiler (4), Reaktorkatastrophe (4), Strahlung “radiation” (4), Sicherheit “safety” (4), and 5 test-related words in connection with Fukushima.

The news starts with the situation in Fukushima, which is covered by 15% of the time. The report is gloomy and alarming, but there is no mention of a meltdown: “The IAEA calls the situation alarming... Today the government warned for the first time about danger for health. The radiation around the plant is very high... The safety container of Reactor Two might be damaged...” (*) This part is illustrated by long shots of the Fukushima plants and medium shots of ‘testers’ in protection suits. A 19-second report follows about the German rescue team leaving the area because of danger of nuclear fallout and scarce hope of finding survivors. Next follow reports about the devastation caused by the tsunami along the coast and survivors in camps, which is covered for 13% of the time. The shots are mostly long or very long shots, focusing on destroyed houses, cars, and infrastructure. Soldiers and men around a camp-fire are also shown in long or very long shots. Only an interviewed young man is shown for 15 seconds in medium close-up. He seems very rational, seemingly displaying no strong emotions. People in the half-dark, cold camp-gymnasium are shown in five long and medium shots from the back or half-sided, faces are not visible. Correspondent Reimers reports for 15 seconds in medium close-up. Except for eye-blinking nine times she shows no movements whatsoever: “Devastation as far as one can see. By far not all dead have been recovered... Recovery of the dead, to provide for the survivors, a mammoth task for catastrophe-hit Japan.” (*) It is mentioned that people around Fukushima and foreign companies are evacuating south.

28% of the broadcast is allotted to discussion about and the provisional stop of seven nuclear plants in Germany, and about common safety standards for nuclear plants in the EU. This discussion is portrayed in a more lively fashion with eleven interviews or comments by politicians and executives of electric companies and ends: “But should the lesson be that nuclear power is too dangerous? To replace it would be very difficult....” (*) The CEO of RWE: “Europe without nuclear power? Maybe in 80 years. But certainly not now. I don’t think so.” Newscaster: “Indeed, countries such as Poland make it clear, that they want to build reactors. Even now, after Japan.” (*) The newscaster ends by referring to upcoming programs about the fear of a nuclear cloud in Tokyo and a nuclear moratorium.

5.4 TF1 LE20H of March 15, 2011

The broadcast totals 26 minutes 38 seconds and is shorter than usual because of a soccer match following.

The focus of this broadcast is mainly on the dangerous nuclear/radioactive aspect of the catastrophe, two thirds on what is happening in Japan and one third on what relates to France and the safety of her nuclear plants. The report is critical and voices mistrust of official Japanese statements. It also portrays the worries of seemingly calm Japanese.

The keywords are: nucléaire (used 25 times including 2 crise nucléaire and 3 menace nucléaire), Japon (25 with 7 in subtitle), centrale “nuclear power plant” (17, 1 in subtitle), radioactivité (17, 1 in subtitle), japonais (13 times, 5 as adjective), Fukushima (13, 4 in subtitle), catastrophe (11, 3 catastrophe nucléaire), radioactif/ve (11, 1 in subtitle), séisme (11), réacteur/s (10), France (9, 1 in subtitle and 3 Air France), sécurité “safety” (9), tsunami (8, 1 in subtitle), risque (8), nuage “cloud” (7), crise (7, 1 in subtitle), inquiétude “worry” (6),

This evening the news is presented by Laurence Ferrari (LF), the other main anchor of TF1. She has a more direct style of facing the camera, not as diagonal as CC, however her head and body movements are similar, as is the accentuated intonation of speech.

A full 87% covers Japan-related news, with 58% on Japan itself. Reports on the disaster left by the quake-tsunami, the victims, and rescuers with no one to rescue take 15% of the program, with 44% on Fukushima and radiation-related news such as the situation at the reactors, evacuees being checked for radiation, radiation levels, a radioactive cloud moving towards and arriving in Tokyo, and the reaction of people there. French people leaving Japan, frank comments by a correspondent, other correspondents vainly asking for radiation checks, official secretiveness, and the position of Air France are all shown.

Coverage of the disaster’s effects on France takes 29% of the time. The finely adjusted French radiation alert system is presented and the determination of all politicians to check the safety of each and every reactor in France and to learn from the Japanese lesson. A minute of silence was observed for the victims of the catastrophe in Japan in the National Assembly. In-between there is a report on the danger of radiation and its consequences on the human body, referring to Chernobyl. The last interview is about the economic aspects of the catastrophe. At the end of the news, LF ‘reminds’ the audience of the aggravation of the nuclear crisis in Japan.

There are a total of 9 reports, and all but two are given only in voice-over, plus two interviews in studio. Before each of them, LF gives a 10-25 second

summary/overview of the report/interview to follow and introduces who is going to do the report. LF is visible in medium close-up for 5-6 minutes.

This broadcast contains more emotion than the March 11 program, showing several victims and French people leaving Japan in medium close-up displaying emotions. Nearly 9% of the time covers a close-up report on a young French man leaving Fukushima and Japan, harshly criticizing the Japanese government. Scientific correspondent Fabrice Collaro is in the studio with LF, the setting similar to that of March 11. However, in this program, Collaro in medium shot/medium close-up is standing, gesticulating, sometimes putting hands together, body swaying a little, showing simulations on a screen wall and explaining clearly what happens in the reactors, especially No. 4. He has animated mouth and eye movements and rapidly delivers 280 words in 75 seconds!! He does not use 'meltdown' but comparable expressions and stresses that it is a race against the clock.

Following are translations by the author. Correspondent in voice-over about evacuees: "One after the other undergoes the inspections without panicking. The Geiger counter determines the level of radioactivity. Only the officials wear protection suits, the population seems helpless." (*) Correspondent in voice-over about the Prime Minister: "One sees that he tries to reassure us, therefore in my opinion, one knows what that means." (*) Correspondent in medium shot: "The sentence one hears most is: 'when we will really know everything, it will be too late'. The Japanese, however, cling to their island. They are astonishingly calm while the country is paralyzed. ...because, after having spent 3 days in the Fukushima area one thing is sure: the government is incapable to face/fight a major nuclear accident and to protect its population." (*) LF: "It is not yet panic in Tokyo but people become more and more nervous." (*) Interviewed Japanese: "I decided to put on a mask. That is all I found against radiation." "I am worried and I decided to go out as little as possible." "The French and the Americans have left. That means that things are serious, while for us, there are no instructions from the government." (*) LF: "Air France is going to use bigger planes. The airfare is set at 700 Euro to enable people who desire to leave." (*)

5.5 ABC March 15, 2011

Actual news time is 21 minutes 13 seconds with an additional 7 minutes 18 seconds of commercial advertisements interrupting the news three times. The entire program is devoted to the events in Japan as

Diane Sawyer, the main anchor, is dressed in outdoor clothes, reporting from Tokyo and from parts of devastated areas. She uses emotion-seeking facial expressions, swaying her head, leaning her body forward, using gestures to emphasize her words. Her body-language and the wording is such she appears to speak personally to each and every member of the audience. The news is usually fast-paced, at times quickly changing shots, but then again very attention-catching, in parts moving, calling for empathy, with nearly all in (medium) close-ups or medium shots. There is great interaction between newscaster and correspondents, calling each other by first name and actually talking to each other. The boundaries of the reports are blurred as dialogues between newscaster and correspondent are interspersed within the reports, giving the impression of familiarity, seeming to include the audience.

In total there are five reports, partly in voice-over, partly on scene and/or in interaction with Sawyer, interspersed with comments of experts on the subject. The sentences used are easy to understand, especially Sawyer pronouncing slowly, distinctly and with deep attention.

The keywords are: radiation (used 37 times, 2 in subtitle), disaster (3 + 14 Disaster in the Pacific in big subtitles), reactor workers (14), nuclear (14, as in power, plant, etc., + 2), reactor/s (12), survivor/survive (12 + 1), meltdown (9, partial, total, full, + 1), rescue-related (7), radioactive/ity (6), United States (6), Chernobyl (6 + 1), evacuate/ion/evacuees (6), leak/age (4).

The voiceover of the short introduction with catchy shots and the title 'Disaster in the Pacific' in distorted font already sums up the main focus of this broadcast in an interacting talking style that continues throughout the news: "Now there are four, four troubled nuclear reactors at one site. What happens if they all melt and who are the 50 brave workers who agree to stay inside and try to save everyone else? We go out with rescue crews, calling out for signs of life in the rubble. 'Make a noise,' they say. 'Is anybody there?' 'Hello, is anybody there?' And survivors did emerge today. And we'll tell you what is the real danger for the United States. What about that run on potassium iodide pills? And on World News, lessons for all of us from survivors of that Hiroshima radiation 60 years ago." As the keywords show, the main focus is on radiation: radiation from Fukushima, from Chernobyl, natural radiation and radiation from the Hiroshima atomic bomb. The 50 workers staying at the Fukushima plant

are portrayed as heroes. Sawyer accompanies a rescue team and is emotionally overwhelmed: “Can’t imagine how they are going to clean this up. Look at this, Shovels, probes, and their voices. That’s all they have.” Right after this an American rescue team equipped with microphones, necessary tools and sniffing dogs is portrayed. Examples of altruistic help are shown and close-up shots of one survivor as well as of crying people overjoyed to be reunited with family members. Giving examples of natural sources of radiation (bananas, a statue’s granite) and X-rays, the message is that there is no danger for the U.S.: “Even if we had a Chernobyl type accident, the impact on the United States would be minimal.” One report is about the various sites of devastation, which ends with examples of survivors’ creativity coping with the disaster and lucky survivors.

In the conclusion, survivors of the Hiroshima atomic bomb are assembled and interviewed. They rebuilt Japan and have grandchildren now. Pictures of children of that time and of those today are shown: “As this generation of Japanese say, there is a different kind of strength you learn after you survive something terrible.” This illustrates the search for positive news or giving a positive outlook (it’s bad, but not that bad and it will even improve). At the end Sawyer in medium close-up on street stresses that many Americans will come to the rescue and that ABC will be always online (just like assuring a friend/family member to be always there for him/her). The first of two ending shots is a 6 second close-up of the tear-filled eyes of a Japanese again evoking empathy.

6 SUB-CONCLUSION 2

As on March 11, all March 15 programs report on the same content, however their focus and stance again are very different. This time the focus is no longer on quake and tsunami, but on the Fukushima nuclear power plants. In the Japanese NHK program information is again given repetitively in bits and pieces without apparent purpose. Fukushima is now covered for 55% of the time, however no mention of any meltdown or clear information about radiation is given. A full 53% of BBC’s news of March 15 is on Japan, focusing on Fukushima. Displaying a marked seriousness, which is supported by tone and camera-work, a possible meltdown as well as radiation risks for Japanese, is played down and reporting kept noncommittal, stressing that Americans will help. No mention of danger for Britain or of British nuclear

plants is voiced. The German Tagesschau uses 56% of its broadcast for Japan-related news. Fukushima is covered by 15% of that, however no meltdown possibility is mentioned this time. The focus is completely on the moratorium on German nuclear plants, which was triggered by the events in Fukushima. The French TF1 of March 15 has a full 87% of its program Japan-related. Several reports criticize Japan’s handling of Fukushima. A meltdown is not mentioned, however the effectiveness of the French radiation alert system, as well as further safety upgrades of its plants, are stressed. The entire American ABC news is on Japan with its main anchor reporting from Japan. The emotional and empathy-seeking reporting portrays the remaining workers at Fukushima as heroes and applauds the survivors. Fukushima is compared to Chernobyl, but the emphasis is there is no radiation danger for the U.S. and little for the rest of Japan.

7 CONCLUSION

Although all the news programs report on the same drastic events, their stance and focus is quite different. How these different foci are presented, heavily relies on the prevalent communicative style of the culture in which the news program is broadcast. The five countries’ news programs analyzed show evidence of the communicative styles attributed by various authors to each of the five cultures.

It is an extreme situation for Japan, nevertheless, the NHK News7 of both dates strives to cover everything, from the individual to nationwide scale. Using all that is available (whole screen), everything has to be repeatedly reported, without giving any clear information or instructions or necessary future planning, especially concerning Fukushima. This is not through lack of broadcast time as the news is continually broadcast, without end. Shots are often shown for a long minute or more and people are portrayed in close-ups and medium close-ups. The news program strives to do many interviews, providing an emotional bonding between the people of the disaster area and the audience. The focus is on sharing.

The BBC news first focuses on the immensity of the disaster and the resulting helplessness. However, by day four the focus is on Fukushima, and while stressing that nothing is known for certain, plays down the possible danger of radiation. There is interaction and relationship building between newscaster and correspondent, as well as with the audience, by

displaying animated facial expressions and by verbal choices. However, on March 15, the camera-work is more static, conveying a serious and seemingly fact-based image.

The focus of the German Tagesschau of March 11 is on Fukushima, mentioning melt-down several times. Four days later the focus is on the phase-out of domestic nuclear power. Even when reporting about Japan, maintaining a distance both visually and verbally seems to be a goal. There is very little or no facial expression or body-language by the newscasters and correspondents. No discernible social relationship could be detected between them. Stressing facts and analysis emphasizes distance and seriousness as do the usage of long shots. The shots seldom portray people and seem to avoid emotional or sympathy seeking content.

The French TF1 of March 11 strives in 80% of its time to cover the whole disaster, linking it to Pacific-bordering countries as well as to past disasters using 15 reporters. Fukushima is not covered. On March 15, 87% of the news is Japan-related. This time several reports criticize, both directly and indirectly, Japan's handling of Fukushima, while at the same time stressing further safety upgrades of French plants. The French newscaster's non-verbal and para-verbal communication is animated and the dress is more appealing than formal. The studio layout and its desk emphasize extra-verbally the intention to link different or opposite aspects or themes. The reporting is not focused on emotion-seeking, but rather on eloquently intertwining different aspects and data concerning the disaster. The newscaster's facial expressions, as well as tone of modulation, are animated, supported by a nodding of the head which starts in the upper body. The audience is addressed with 'vous', polite 'you' and reminding or encouraging expressions 'Je vous le rappelle' (I remind you of), 'vous le savez' (you know (it)) 'on a compris' (we have understood), or 'vous avez compris' (you have understood) are used. Reporting is combined with audience-orientation. Correspondents are introduced with full name, when interviewed are addressed with 'vous', and thanked by saying full name. At the end of all reports the correspondents' names appear in subtitle.

The American ABC of March 11 reports extensively on the disaster, also mentioning a possible meltdown in Fukushima. The empathy-appealing conclusion stresses empathy between all people. Four days later the entire news is on Japan with the main anchor reporting from Japan. The remaining workers at Fukushima are

portrayed as heroes and survivors applauded. Fukushima is compared to Chernobyl but it is stressed there is no radiation danger for the U.S. or for the majority of Japanese. The newscaster uses emotion-seeking facial expressions, swaying or bobbing her head, leaning body forward, and uses gestures to emphasize her words. Verbal and body-language are as if she talks to only one person, in a distinct, focused and attentive tone. Newscaster and correspondents call each other by first name and talk to each other during the reports, which gives the impression of familiarity. This is enhanced by short, colloquial and inviting sentences. The news is usually fast-paced, at times quickly changing shots. The shots are nearly all in (medium) close-ups or medium focus, very attention-catching, in parts moving, calling for empathy.

Given the great breadth of the subject, it was impossible to cover all points and facets in detail within this study. Therefore, although part of the findings confirm in various aspects preliminary results of a previous study, further investigations and comparisons are necessary to find stronger evidence for culture-related communicative styles in prime-time television news programs of different countries.

ACKNOWLEDGMENT

This research is funded by a three year grant ending March 2014 from the Japanese Society for the Promotion of Science (JSPS)

REFERENCES

- (1) Barmeyer, C.I.: C.I. Barmeyer, *Interkulturelles Management und Lernstile. Studierende und Führungskräfte in Frankreich*. Deutschland und Quebec. Frankfurt/M. (2000)
- (2) Bolten, Jürgen / Dathe, Marion / Kirchmeyer, Susanne u.a.: Interkulturalität, Interlingualität und Standardisierung bei der Öffentlichkeitsarbeit von Unternehmen. In: Baumann, D./ Kalverkämper, H. (Hrsg.), *Fachliche Textsorten*. Tübingen (1996)
- (3) Bolten, J., Kultur und kommunikativer Stil. In Wengeler, M. (Ed.), *Deutsche Sprachgeschichte nach 1940*. Hildesheim, Zürich, New York: Olms (2002), p103-124.
- (4) Galtung, J., Struktur, Kultur und intellektueller Stil. Ein vergleichender Essay über saxonische, teutonische, gallische und nipponische Wissenschaft. In Wierlacher, A. (Ed), *Das Fremde und das Eigene*.

- München: Judicium (1985), p151-193.
- (5) Huijser, M., *The cultural advantage*. London: Intercultural Press (2006).
- (6) Huijser, M. & D. Huijser, *Managing Mindsets*. Amsterdam: Ayn Press (2011).
- (7) Kainzbauer, A., *Kultur im interkulturellen Training*. Berlin: IKO Verlag (2002).
- (8) Kawakita, J., *KJ-Method*. (in Japanese) Tokyo: Chuokoronsha (1986).
- (9) Krause-Ono, M. & S. Wächter, Japan – Deutschland: Analyse kulturgebundener Medien. In Voigt, C. (Ed.), *Interkulturell führen – Diversity 2.0 als Wettbewerbsvorteil*, Zürich: NZZ (2009), p 167-183.
- (10) Krause-Ono, M., Comparative Analysis of Three National Primetime TV News Broadcasts (Preliminary Results), *Muroran Memoirs* 62, 2012, 101-111
- (11) Lüsebrink, H.-J., *Interkulturelle Kommunikation*. Stuttgart: Verlag J.B. Metzler (2005).
- (12) Maier, M., Stengel, K. & Marschall, J., *Nachrichtenwerttheorie. Konzepte: Ansätze der Medien- und Kommunikationswissenschaft*, 2. Baden-Baden: Nomos (2010).
- (13) Münch, R.: Code, Struktur und Handeln: Soziale Milieus der Wissensproduktion, in: Haferkamp, H. (Hg.): *Sozialstruktur und Kultur*, Frankfurt/M. 1990, 54-9
- (14) Nees, G., *Germany – unravelling an Enigma*. Boston: Intercultural Press (2000)..
- (15) Schroll-Machl, S., Die Deutschen—Wir Deutsche [The Germans—We Germans]. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht (2002).
- (16) Sueda, K., Panel-discussion at Sietar Japan Conference, Reitaku University (2009).
- (17) Yamashita, H., Soziale Relevanz der Höflichkeit [Social relevance of politeness]. *Neue Beiträge zur Germanistik*, 2(1), (2003), p104-118.

2011 年の東日本大震災を取り上げた 5 か国の全国版ニュース番組

クラウゼ小野・マルギット^{*1}

概要

本研究は、2011 年 3 月 11 日と 15 日における 5 か国（日本、イギリス、ドイツ、フランス、アメリカ）の代表的なテレビニュース番組の中で東日本大震災がどのように報道されたかを比較するものである。KJ 法によって明らかとなったのは、それぞれのニュース番組における内容と取り上げ方にはその国の文化様式と密接な関係があるということである。ビジュアル（静止画、動画、アニメ映像 etc.）とオーラル（アナウンス、リポート、インタビュー、無音声 etc.）との関係については、ニュースのそれに適した部分を対象とすることで分析が行われている。比較の目的は、文化的な規範と前提によってバイアスのかけられたニュース内容と言語的・視覚的表現の中心にあるものを明らかにすることである。

キーワード：コミュニケーションスタイル、文化様式、テレビニュース番組

^{*1} 室蘭工業大学 ひと文化系領域

ノルウェー語 Sandnes (サンネス) 方言における音調の アクセント論的解釈

三村 竜之^{*1}

An Accentological View of Tones and Tunes in Sandnes Norwegian

Tatsuyuki MIMURA^{*1}

(原稿受付日 平成 25 年 6 月 28 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

This paper aims at illustrating the whole mechanism operative in various tonal phenomena in Sandnes Norwegian, the dialect spoken in a south-western town Sandnes. Sandnes Norwegian is so-called stress accent language, and it has two tones, high-level and falling tones, appearing on a tonic syllable. The author formerly argued that the dialect, in the phonological/prosodic sense, has a falling tone alone, and the timing of a pitch movement relative to a tonic syllable is relevant feature in prosodic contrasts. There are, however, still two theoretical issues left open in the former interpretation: i) the necessity of morae as a bearer of a falling tone, ii) the phonological/prosodic nature of tones and tunes irrelevant to prosodic contrasts.

In the present study, the author firstly attempts to solve one of those issues through arguing that the notion of mora lacks the explanatory power and *raison d'être* in the phonology of Sandnes Norwegian. Then the author introduces *Rhythm Units* and *Unit Tones* based on the descriptive and theoretical frameworks of *Accentology*, an analytical method derived from the Japanese field linguistics, and claim that the two newly introduced notions are effectual in both explaining the several metrical and tonal phenomena and solving the other theoretical issue. Through the in-depth examination of those issues, the author proposes an alternative explanation that the two tones contrasting on the surface are reduced to one falling tone, and the distinction between the presence and absence, not the difference of a relative timing, of a falling tone on a tonic syllable is only relevant to tonal contrast. The author finally concludes that the alternative approach enables us to explain several tonal phenomena in the dialect in a more sophisticated, coherent and phonetically natural fashion.

Keywords: Norwegian, Accent, Stress, Intonation, Accentology, Rhythm Unit, Unit Tone

1 序

1.1 本研究の背景と目的

ノルウェー語は語に主強勢を担う音節が必ず一つ存在し、その音節には、ノルド語（北ゲルマン

語）学の伝統で「アクセント（以下、Acc とする）1」と「Acc2」と呼ばれる二種類の音調が現れる（詳細は第 2.1 節を参照）。

これまで筆者は、Bokmål と呼ばれる、首都 Oslo 方言などノルウェー南東部の方言を主に基盤とする標準方言におけるアクセントの音韻論的解釈を公にしてきた（三村 2005）。

^{*1} 室蘭工業大学 ひと文化系領域

特に、この数年間はノルウェー南西部の一方言である Sandnes 方言の記述研究に取り組んでおり、ストレス（強勢）との関連から Sandnes 方言における音調の全体像の解明を試み、独自のアクセント解釈を提案してきた（三村 2012a）。しかしながら、前掲の三村（2012a）において提案したアクセント解釈には、「アクセント核」の担い手としてのモーラの必要性や「（広義の）イントネーション」の音韻論的な位置付けといった理論的な問題点が僅かに残されていた。

このような背景を踏まえ、本研究では、上述の二つの理論的な問題点の解決を試みるとともに、問題点の解決を通じてアクセント解釈の拙案の修正と改善を行い、アクセントを含めた Sandnes 方言における音調のより優れた解釈案を提示する。

1.2 ノルウェー語 Sandnes 方言について

Sandnes 方言^{*2}の話される Sandnes は、ノルウェー南西部に位置する Rogaland 県の一都市である。2012 年 6 月に発表された統計では約 6 万 8 千人の人口を有しており、2013 年にはノルウェー国内で 7 番目に大きな都市になると予想されている（詳細は <http://www.sandnes.kommune.no> を参照）。

Bokmål と比較すると、Sandnes 方言は分節音の点では様々な相違点^{*3}を示すものの、韻律的な側面においてはそれほど大きな特徴は示さず、アクセント音調の具体的な型の違い（三村 2012a: 229(82)）や「前気音（preaspiration）」（Wim A. van Dommelen 1999, 三村 2012c）の存在が指摘できる程度である。

*2 本稿において引用する資料は、全て筆者が Sandnes 方言を母語とする話者一名をインフォーマントとして実施したフィールドワークを通じて採取したものである（2009 年から 2012 年にかけて実施；調査方法並びに調査項目等に関しては、三村（2012a: 80）を参照されたい）。

数年に渡りインフォーマントとして筆者に尽力して下さった Brede Tingvik Haave さんにこの場をお借りして心よりお礼を申し上げる。

*3 例えば、Bokmål において舌尖の「はじき音（flap）」（あるいは「ふるえ音（trill）」）として現れる r の音は、Sandnes 方言では（デンマーク語標準方言と同じく）「有声口蓋垂摩擦音」として現れる。また、これに関連して、Bokmål において特徴的な「反舌音（retroflex）」は Sandnes 方言には観察されず、既に述べた有声口蓋垂摩擦音と歯茎音の組み合わせとして現れる点も特徴的である。

なお、既に一連の拙論で度々述べてきたように、Sandnes 方言の音声学及び音韻論に関する先行研究は全体的には乏しい。分節音に関しては Magne Oftedal（1947）に代表される記述研究や Wim A. van Dommelen（1999）に代表される実験音声学の研究などが散見される一方で、アクセントに関する研究報告や調査資料は極めて少なく、管見に及ぶ範囲では筆者の一連の論考を除いてはほとんどなく、音声面での類似性の高い近隣の都市の方言である Stavanger 方言を扱ったもの（例えば Ernst W. Selmer（1927）や Arne Vanvik（1956）など）が辛うじて参照可能であるに過ぎない。

1.3 Acc1 と Acc2

既に冒頭にて導入済みの用語ではあるが、Acc1 と Acc2 という用語はノルド語学においてしばしば多義的である。従って、本節ではこの用語に関して若干の補足を行う。

そもそも Acc1 と Acc2 という用語は、ノルド諸語の内、ノルウェー語、スウェーデン語、デンマーク語の三言語において約 1150 年頃には発生していたと推定される二種類の「アクセント」を指す用語である。この場合の Acc1 と Acc2 とは、歴史的に同一の起源に遡ることの可能なノルド語諸方言の二種類のアクセントにそれぞれ与えた「レッテル」に過ぎず、それぞれの言語（ないし方言）におけるアクセントの具体的な音声実質は考慮されていない。

歴史的な変遷の後、それぞれの言語や方言において Acc1 と Acc2 の具体的な音声実質は変化を遂げ、例えば（後述するように）Sandnes 方言では Acc1 は「（主として）高平調」、Acc2 は「下降調」として現れるが、デンマーク語（標準方言）では Acc1 は stød と呼ばれる「喉頭化（laryngealization）」や「きしり声（creaky voice）」の一種として現れ、その一方で Acc2 は stød の無い状態として現れる。

このように、個々の言語や方言に関して用いた Acc1 と Acc2 という用語は具体的な音声実質を伴っており、従って、Acc1 と Acc2 という同じ用語を用いているとはいえ、それぞれが指し示す現象や具体的な音声実質は大きく異なりうる点に注意が必要である。

本稿では、ノルド語学の慣習に倣い便宜的に Acc1 と Acc2 という用語を用いしするものの、その具体的な音声実質はその他のノルウェー語諸方言やノルド諸語におけるものとは異なる点に十分に留意されたい。

1.4 アクセント論的アクセント観

「アクセント」という用語を用いて何を意図するかは研究者により微妙に異なることがあり、また言語の音声的側面を扱う音声学と音韻論の間でも「アクセント」の概念は異なることがある。さらに、仮に音韻論の領域に限定したとしても、研究対象とする言語が異なれば、アクセントという用語の意図する概念が異なることもある。そこで本節では議論の出発点として共通の理解を図るべく、筆者の唱える「アクセント論」的なアクセントの捉え方について述べておく。^{*4}

筆者の考えるアクセントを一言で述べるならば、特定の言語社会において慣習的に共有された、ある音声特徴を利用して実現される語の「音形」である（なお、ここで「語」と呼ぶものは、厳密にはアクセントを担うまとまり、いわば「アクセント単位」とでも呼ぶべきものであるが、議論が煩雑になるのを防ぐために、ここでは便宜的に「語」という用語を用いる）。従って、アクセントが個々の言語において具体的に実現する際の音声実質は、アクセントそれ自体を定義する上では重要ではない。典型的には、例えば日本語に代表される「(音の) 高さ／ピッチ」や英語に代表される「(音の) 強さ／ストレス」といった音声特徴が利用されるが、先に述べた機能が果たされる限りにおいては、「声門狭窄」や「喉頭緊張」、「(音の) 長さ／量 (quantity)」といった音声特徴であっても理論的には可能である。

また、利用される音声特徴は、語を構成する分節音（語音）の情報から規定されるものではない。無論、アクセントの具体的な実現には分節音が影響を与えることはありうるが、アクセントの本質的な部分は分節音に固有の音声特性とは切り離されるものである。だからこそ、言語によっては、アクセントが語の知的意味の弁別に寄与しうるのである。

なお、このような「弁別（的）機能」はアクセントの主たる機能ではなく、むしろアクセントが有する本来の特性から派生的に生じた、いわば副次的な機能であると筆者は捉えている。というの

^{*4} ここで「アクセント論的」と呼ぶ筆者のアクセント観は、特に上野善道（1980、1989）に代表される日本語方言アクセント研究におけるアクセントの捉え方、並びに氏の理論に影響を与えたと考えられる川上肇の一連の論考（川上 1995 を参照）からその着想を得ている。

も、仮に、超分節的特徴によって作られた「型」が一種類しか無く、従って最小対が存在しない場合であっても、その「型」を分節音の特性から導き出すことができない以上、分節音のレベルとは独立した自律的なものとして、つまりは「アクセント」として捉えられるからである。「型」の対立により知的意味の弁別がなされなくとも、歴とした「型」は存在するのである。

本稿の主題との関連で留意すべきは、筆者がここで「型」と呼ぶ「分節音のレベルとは独立した自律的な音形」の全てがアクセントではないという点である。アクセントの「型」は確かに語全体に被さるものではあるが、その「型」は語のある一か所に現れる本質的な特徴によって導き出すことができると考える。この点でアクセントは、例えば中国語北京方言に見られるような、語を組み立てる音節のそれぞれに音韻論的に有意義な音声特徴の現れる「声調 (tone)」とは異なる性質を有する。

このアクセントが有する本質的な特徴、すなわち音韻論的に真に有意義な特徴は、例えばイントネーションなど、少なくとも語レベルでは音韻論的に指定 (specify) する必要のない特徴を分離することによって初めて得られるものと考ええる。つまり、我々が実際の発話において観察することができる現象は、実はアクセントの上にイントネーションなど様々な音声特徴の被さった結果生じた重層的な物であり、従って、単に語が単独で発音された際の音形を観察しただけではアクセントを導くことは不可能なのである。あらゆる環境や条件における音形を観察して分析を進め、様々な特徴を分離することによって、アクセントとして真に弁別的な属性を「抽出」しなくてはならないのである。

2 Sandnes 方言における音調の概要

2.1 資料

まず、本格的な議論に移る前に、Sandnes 方言に置ける Acc1 と Acc2 の具体例を概観する。次頁上部の (1) を参照されたい (Acc1-Acc2 の順に示す)。

(1a) に示した語例はアクセントの点で対立する（疑似）最小対の例、そして (1b) の語例は複合語の例である。これらの資料から Acc1 と Acc2 に関して次の二つの点を読み取ることができる: 1) Acc1 は（主に）高平調が、Acc2 は下降調が主強勢を担う音節に現れる; 2) 高平調と下降調は、いずれ

(1)*5

- a. (i) *avtale* [¹á:v.t^hà:lá HML] 「約束する inf.」 – *avtale* [²á:v.t^hà:lá FML] 「約束」
 (ii) *leser* [¹lé:sə HL] 「読む pres.」 – *lese* [²lé:sá FL] 「読む inf.」
- b. (i) *sjokoladekake* [²ʃo.ko.lá:ðə.kà:ga MMFMMML] 「チョコレートケーキ」
 (< *sjokolade* [²ʃo.ko.lá:ðə MMFL] 「チョコレート」 + *kake* [²ká:ga FL] 「ケーキ」)
 (ii) *fagordbok* [²fá:g.ð:ɐ.bô:g FML] 「専門用語辞典」
 (< *fag* [¹fá:g H] 「分野」 + *ordbok* [²ó:ɐ.bô:g FL] 「辞書」)
 cf. *ordbok* < *ord* [¹ó:ɐ H] 「単語」 + *bok* [¹bó:g H] 「本」

も主強勢を伴う音節にのみ現れ、副次強勢などその他の強勢を担う音節には現れない。

また、以下に示す語例から、主強勢を担う音節に主として「高平調」を伴う語では、任意で「高平調」に代わり「下降調」(F の記号で示す)や「(短い) 上昇調」(R の記号で示す) が現れることが読み取れる:

(2)

- a. (i) *ned* [¹né:ɐ H~F] 「下方へ」
 (ii) *avis* [¹a.ví:s MH~MF] 「新聞」
- b. (i) *Amerika* [¹a.mé:ɐi.ka MHML~MRML] 「アメリカ」
 (ii) *beklage* [¹bə.klá:ga MHL~MRL] 「遺憾に思う」

なお、資料として稿末の付録の表 1 と表 2 に示した語も参照されたい。ローマ数字は音節数を、アラビア数字は (語頭から数えた) 主強勢の現れ

*5 本稿での資料の提示方法や用いる音声字母並びに記号はこれまでの拙論 (三村 (2011) など) においてと同様であるため、詳細は前掲拙稿を参照されたい。なお、音声表記の先頭に付した上付きのアラビア数字 1 と 2 はそれぞれ Acc1 と Acc2 を示す。また、音調の表記には F (下降調)、H (高平調)、L (低平調)、M (中平調)、R (上昇調) の記号を用いているが、これらの記号は飽くまでも各音節の音調を音韻論的な解釈を経た上で大まかに三段階に分けて捉えた、言わば簡略的な表記に過ぎない。従って、仮に同じ記号で表記された音節であっても、具体音声としては厳密には高さが異なりうる点にくれぐれも留意されたい。

なお、本稿で用いる略号は以下の通り: adj. 「形容詞」、fem. 「女性」、inf. 「動詞不定形」、masc. 「男性」、pl. 「複数形」、pres. 「現在形」、sg. 「単数形」。

る位置を表わす。また、表中の「—」は該当する語例が存在しないこと (accidental gap) を示し、網掛けの箇所は構造的な理由から該当する語例が存在しない (structural gap) ことを示す。

2.2 想定される解釈案とその問題点: 先行研究の検討に代えて

既に述べたように、Sandnes 方言のアクセントに関する先行研究は極めて乏しい。そこで、ここでは、首都オスロの方言を主たる基盤とする標準方言である Bokmål を対象とする先行研究に倣い、想定されうるアクセントの解釈案を提示し、さらにその解釈案の問題点を指摘することで後の議論に繋げたい。

まず、Carl Hjalmar Borgstrøm (1938) などに代表される古典的な立場では、主強勢を伴う音節に Acc1 と Acc2 という二つの toneme を設定する。つまり、主強勢を担う音節に現れる音調の「種類」の違いが Acc1 と Acc2 を区別する上で有意義な特徴とする解釈である (Borgstrøm 1983: 260-263)。

確かにこの立場では Acc2 の音調は適切に説明することは可能かもしれないが、既に (2a) に示した *ned* や *avis* など末尾音節に主強勢の現れる (oxytonal) 語において任意に現れる下降調や、(2b) に示した *Amerika* や *beklage* のように第二音節以降の音節が主強勢を担う語において観察される短い上昇調がなぜ現れるのか、音声学的に適確に説明することができない。

つまり、伝統的な解釈に倣い、「高平調イコール Acc1」、「下降調イコール Acc2」という固定的な図式で音調を捉えてしまうと、*ned* や *Amerika* などの語の主強勢を伴う音節に下降調や上昇調が現れうるという事実を適切に説明することができないのである。以上から、二つの toneme を設定する伝統的な解釈には問題が残る。

同じく伝統的なノルウェー語のアクセント解

積としては、例えば Arne Vanvik (1956) のように、語（音節にあらず）は全て Acc1 と Acc2 という二つの *toneme* のいずれかが被さっていると捉える立場がある。日本語アクセント論でいう「語声調」（早田輝洋 1999）や「N 型アクセント」（上野善道 1984）に通ずる解釈で、語の長さ（音節数）を問わず、音調の型は常に二つであるとする立場である。しかしながら、Acc1 の高平調や Acc2 の下降調の現れる位置は常に主強勢を担う音節であり、また稿末の表 1 と表 2 に示した語例からも読み取ることができるように、Sandnes 方言における主強勢の位置は日本語諸方言における「N 型アクセント」のように語中における特定の音節であるとは限らない。従って、語に被さる音調の型は主強勢の位置に応じて二つ以上になる可能性があり、この点からいわゆる「二型アクセント」的な解釈は成立しない。

なお、伝統的なノルウェー語アクセント研究では、第一音節に主強勢の現れる二音節語に考察の範囲がほぼ限定されており、また分析対象とする語の語種も固有語（ゲルマン語あるいはノルド語起源の語）がほとんどである。従って、第二音節以降に主強勢の現れる多音節語や外来語なども広く視野に入れる必要がある。

次節以降では、このような先行研究が抱える問題点を解決すべく筆者が提案したアクセント解釈案を要約し、その論拠となる諸事実とその分析を概観する。

3 アクセントの抽出：拙案の概略

3.1 拙案の要点

筆者は、第 2.1 節において概観した資料に基づき、また前節において概観した先行研究の問題点を踏まえ、Sandnes 方言のアクセントに関して以下に要約するような結論を導いた（三村 2011, 2012; 傍点による強調は筆者）：

- (3) a. Acc1 の語では主強勢を担う音節の内部の音調は指定されておらず、当該音節の直後に音調の下降がある。従って、「高平調」～「下降調」～「(短い) 上昇調」といった種々の音調が任意で現れうる。
- b. Acc1 と Acc2 はいずれも下降調という一種類の音調からなり、主強勢を担う音節に対する音調の下降の相対的な位置の違い

（当該音節の直後か内部かの違い）がアクセント対立において真に弁別的な特徴である。

- c. Sandnes 方言のアクセントは、位置の異なる二種類の下降調のいずれかを伴う強勢がアクセント核であるストレスアクセントの一種である。

以下、第 3.2 節と第 3.3 節では、上記の結論を導く際に論拠とした諸事実を、三村 (2011, 2012a) 以降の調査で新たに得られた資料から追加並びに補足を行いながら、その解釈について概略を述べる。

3.2 非関与的な音調（広義のイントネーション）の分離

既に触れたように、稿末の付録に示した表 1 と表 2 は、それぞれ主強勢を担う音節に（主として）「高平調」と「下降調」の現れる語を、音節数（ローマ数字で示す）と語中における主強勢の位置（アラビア数字）に基づいてまとめたものである。

表 1 と 2 に示した資料から、Acc1 と Acc2 のそれぞれの語が有する音調型に関して以下の二点を読み取ることができる：

- (4) a. 主強勢を担う音節に先行する音節は全て常に中程度の高さの音調（「中平調 (M)」）を伴っており、この音調は、例えば表 1 の *humaniora* と表 2 の *memorisere* の対に見られるように、語の音調型を相互に区別する上では有意義ではない。
- b. 主強勢を担う音節に後続する音節は常に末尾音節に向けて漸次的な下降を示しており（... ML ...）、例えば表 1 の *menneske* と表 2 の *ananas* の対において見られるように、語の音調型を相互に区別する上では有意義ではない。

以上から、語の音調型を形成する音調の内、主強勢を担う音節に現れる音調、つまりは「高平調（～下降調～（短い）上昇調）」と「下降調」の二つを除く全ての音調は、語における主強勢の位置に応じて自動的に導き出すことができる。従って、これらの音調は、アクセント対立においては非関与的な音調として分離することが可能であるとともに、アクセント抽出の作業過程においてその

手続きが必須であることが明らかとなる。

3.3 強勢の音韻論的位置付け

これまで、英語やドイツ語などの研究を通じて、ストレス（強勢、強さ）アクセントを有するとされる言語は共通した特徴を幾つか有することが指摘されてきた（例えば、早田輝洋（1988）や窪菌晴夫（2002）を参照）。

本研究が考察の対象とするノルウェー語も英語やドイツ語などと同じくゲルマン諸語に属し、従来からストレスアクセントの言語であるとされてきたが、ストレスアクセントを有することを積極的かつ明示的に論じた研究は管見に及ぶ範囲では皆無であった。

そこで筆者は、早田（1988）や窪菌（2002）が指摘する諸特徴に加え、さらに自身の調査における観察を通じて得られた知見を踏まえ、以下に示す諸条件並びに諸制約を論拠として、Sandnes 方言がストレスアクセント有する言語であることを結論づける：

(5) a. 音節構造（音節量）の制約：

強勢を担う音節は CV 音節（軽音節）であっては許されない。

b. 強勢音節の体系的優位性：

- (i) 強勢を欠く音節には立ちうる母音音素の数に限りがあるが、強勢を担う音節にはそのような制限は無い（例：長母音）。
- (ii) 強勢を欠く音節には音節頭子音（onset）と音節末子音（coda）に子音連結を含む複雑な構造は現れにくい、強勢を担う音節にはそのような制限は無い。

なお、既に言及したように、Sandnes 方言では強勢に加えて Acc1 や Acc2 に観察される音調も音韻論的に有意義な機能を有する。この点に関して、筆者は既に三村（2012a）において、強勢とこれらの音調が音韻論的には同等の資格を有してはならず、一種の「主従関係」にあることを指摘した。そして、この事実から、Sandnes 方言のアクセントが主強勢を担う音節における音調（の位置）が有意義なストレスアクセント（の一種）であることを主張した（「高さ（高低、ピッチ）アクセント」にあらず）。

本稿では、その論拠として新たにその後の調査で得られた資料を以下に追加する：

(6)

a. *gruppe fire* [gʷap.pə ²fi: ʋa MM FL]

「第 4 グループ」

cf. *fire gruppe* [²fi: ʋa ²gʷa^hp.pə FM FL]

「4 つのグループ」

b. *nummer en* [nom.mɔŋ ¹æm MMH] 「1 番」

cf. *et nummer* [¹é^htt ¹nóm.mɔŋ H HL] (sic)

「1 つの番号」

Sandnes 方言では、(6) に示したような「名詞＋数詞」という統語構造は常に「弱強」という強勢の型を伴い、名詞は本来有する強勢を失うことになる。例えば (6a) の *gruppe* と (6a) cf. の *gruppe* を比較されたい。強勢の消失に付随して本来有していた音調も消失していることを読み取ることができるはずである（*fire gruppe* における F から M への交替に注意；なお、M で標記した音調の「正体」に関しては第 4.2 節を参照されたい）。

ここで注目すべきは、逆の事例、つまり音調が保持されながらも強勢が失われる事例というものが存在しないという点である。この事実は、Acc1 や Acc2 における音調の対立が、常に当該音節における強勢の存在をその前提条件としていることを示唆しており、ここから Sandnes 方言の音韻論において強勢と音調の間に「主従関係」（一種の含意関係）が存在することが明らかとなる。

同様の現象は文のレベルにおいても観察することができる（便宜上、正書法の大文字書き並びにゴシック体の音調記号を用いても強勢の所在を示す）：

(7)

a. *Jeg Liker henne.*

I NOM. like PRES. she OBJ.

[eg M ²li:gə FM hu L]

b. (*Hvem liker du?*)

“Who do you like?” に対する答えとして)

Jeg liker HENne.

I NOM. like PRES. she OBJ.

[eg M li(:)gə MM ¹hú: H~F]

c. (*Han liker henne ikke, . . .*

“He doesn’t like her, . . .” に続く発話として)

(men) JEG liker henne.
(but) I NOM. like PRES. she OBJ.
[(men) ¹é:g H~R li(:)g(ə) M(M) (h)u L]

(7a) の文はニュートラルなリズムを伴っていると考えられ、文を構成する三つの語の内、動詞である *liker* がリズムの拍(ビート)を担っている。一方、(7b) に示した文は、形態統語論的には (7a) の文と同一の構造を有しているが、談話において先行する疑問文 *Hvem liker du?* との繋がりから人称代名詞 *henne* にフォーカスが置かれ、その結果、動詞 *liker* の有する強勢が消失するとともに、同じく本来有していた音調 (Acc2; F) も消失している (F が M と交替している)。また、(7c) の文は、(7b) の文とフォーカスの置き方は異なるものの、等しく動詞 *liker* の強勢が失われており、それに付随して本来の音調 (F) も失われている。

これまで、ノルウェー語 (や同じくノルド語に属するスウェーデン語) のアクセントを「高低アクセントと強弱アクセントの併存」や「(高低アクセントと強弱アクセントとは別の) 中間的なアクセント」(例えば、城生 佰太郎 2008: 134^{*6}) とする見解も見られた。これに対して筆者は、本節において提示した強勢と音調の間に観察される「主従関係」を論拠として、Sandnes 方言のアクセントは飽くまでも強勢が基盤となっており、さらに強勢を担う音節に現れる音調がアクセント対立において有意義であるストレスアクセントの一種(「音楽的ストレスアクセント」)であると主張する。

4 三村 (2012a) の改善案及び修正案

4.1 下降の「位置」から下降の「有無」へ: 下降調の担い手の問題

第3節において概観したアクセント解釈の拙案には、下降調の担い手に関する次のような理論的な問題点が残されていた (三村 2012a: 93):

(8) 下降調の担い手に関する問題点^{*7}

主強勢を担う音節の「内部」での下降と「直後」での下降という位置の差異をアクセント対立における弁別的な特徴とする解釈は当

該音節を「割る」ことを要求し、自ずと下降調の担い手としてモーラの存在を考慮する必要性が生じる。

この問題に関して、筆者は既に三村 (2013a) において「Sandnes 方言においてモーラ概念は不要であり、かつ設定することが困難な単位」であるとの結論を導いた。三村 (2013a) の主張を要約すると以下の通り:

- (9) a. 音節構造の「最大性制約 (maximality constraint)」や「最小性制約 (minimality constraint)」など、モーラ概念を用いることで優れた説明が可能となると考えられる (あるいは唱えられてきた) 現象が、モーラを用いずとも音節概念のみで説明が可能であり、またモーラを用いることにより制約自体成立しなくなるという自己矛盾の危険がある。
- b. Sandnes 方言には、(複合語後部要素に観察される「長母音の寸詰まり現象」のような) モーラの存在を疑問視させるのみならず、モーラを用いることでむしろその実体を十分に捉えることのできない現象が存在する。

さらに筆者は、三村 (2013a) において、モーラを設定しないことにより Sandnes 方言のアクセントの記述が簡便になされる可能性を指摘し、

^{*6} 城生 (2008: 134) は同頁の注において「私の教え子である福盛貴弘氏は福盛貴弘 (2002) において、強さと高さの中間にあるアクセントをツヨサの「ツ」とタカサの「カサ」のコンタミネーションから、「つかさアクセント」と命名している」と言及し、「スウェーデン語やノルウェー語などでは、高さとは別に強さアクセントが区別されている。このような例を並べてみると、強さアクセントと高さアクセントだけではいささかオーバーロードであり、両者の中間にもうひとつ別の新たな分類上の名称を設けた方が妥当であるということになる」と自らの見解を述べている。

^{*7} この問題点は三村 (2011) に対して聴衆より私信にてご指摘を頂いたものである (2011 年 11 月 28 日)。貴重なご意見を下さった上野善道先生 (国立国語研究所) ならびに小林正人先生 (東京大学) にこの場をお借りしてお礼申し上げます。

以下に示すようにアクセント解釈の拙案を修正することを提案した（既に示した（3）と比較されたい）：

(10) a. **Acc1 に関して：**

- (i) 音調は指定しない（日本語アクセント論でいうところの「無核型」に相当）
- (ii) 主強勢を担う音節に現れる「高平調」は、主強勢が（イントネーションにより）音声的に実現したものである。

b. **Acc2 に関して：**

音節内部における音調の下降は、（モーラではなく）音節自体に与えられた「下降調」が実現したものである。

c. **弁別的特徴に関して：**

下降の「位置」の違いではなく「有無」がアクセント対立において弁別的な特徴である。

既に（第2節において）述べたように、*ned* や *avis* など末尾強勢（oxytone）の語（Acc1 と解釈）では強勢を伴う音節に任意で下降調も現れ、拙案ではこれを「（後続音節が存在しないために）音節末に与えられた下降調が実現せず、（音節内部は音調が無指定のため）発話末の下降イントネーションが現れた」ものとして解釈してきた。しかし修正案では、そもそも音調が無指定である強勢を担う音節にイントネーションが現れたものとして捉えることができ、より簡略で且つ音声学的に自然な説明が可能となる。

さらに、修正案では下降調の「位置」の指定をする必要がなくなり、自ずと「モーラ」の概念も不要となるため、全体としてより簡潔でかつ経済的な記述が可能となる。

4.2 「広義のイントネーション」の音韻論的位置付け：「リズム単位 *rhythm unit*」と「単位音調 *unit tone*」の提唱

これまで資料を通じて示してきた Acc1 と Acc2 の音調型を図示すると以下のように要約することができる（#は語境界を指す）：

(11)

$$\#(M \dots M) \left\{ \begin{array}{l} \text{Acc1: } H(\sim R \sim F) \\ \text{Acc2: } F \end{array} \right\} (M \dots M)(L)\#$$

つまり、主強勢を担う音節には「高平調」(Acc1; 任意で「(短い) 上昇調」や「下降調」も) と「下降調」(Acc2) のいずれかが現れ、また主強勢を担う音節に先行する音節には「中平調」が、後続する音節には漸次的な「下降調」が現れる、という方である。

これまで、主強勢を担う音節を除く全ての音節に現れる「広義のイントネーション」として扱ってきた音調を、アクセント対立においては有意義ではないという点から語彙（レキシコン）レベルでは指定が不要であり、従ってアクセント抽出の過程において取り除いてきた。しかしながら、今一度、この「広義のイントネーション」の理論的な位置付けが求められる。

というのも、Acc1 の音調型のように、主強勢を担う音節が「高い」音調を伴い、かつ語末にかけて漸次的に下降していくという遷移は、音響並びに生理音声学的な観点から見て至極自然な現象であると考えられるが、一方、Acc2 の音調型では、(11) から読み取ることができるように、主強勢を担う音節に直接後続する音節は（末尾音節でなければ）必ず中程度の高さ（M）まで上昇することが要求されており、Acc1 の音調型に観察されるような音調の「自然下降」に反する不自然な変動を示すためである。

このような Acc1 と Acc2 の音調型は、語彙レベルでの指定が必要ないという意味では確かに「イントネーション」として位置付けてよいものであるが、その一方で (11) に示したような一定の型を常に示しており、改めてこの「イントネーション」の本質を明らかにする必要がある。

そこで筆者は、句や文の音調に着目したい。次頁上部の (12) を参照されたい（正書法の大文字書きとゴシック体の音声記号は強勢を表わす）。例えば (12a) の文をみると、リズムの拍（文強勢）を担う音節が三つ（*SA*, *IK*, *SI*）ある。この文強勢を担う音節が、それぞれ前後に現れる弱音節を付き従わせる形で「まとまり」を成していると筆者は考える。同じく (12a) を例にとると、*Han SA at han, IKke ville, SI det* がそれぞれこの「まとまり」を成していると言える。

筆者の唱えるこの「まとまり」は、Kristoffersen (2000: 275) が Bokmål のリズムの分析において ‘Accent Phrase’ と名づけた単位や、Grønnum (2007: 82) がデンマーク語（標準方言）のイントネーションを記述する際に ‘trykgruppe（英 stress

(12)

- a. *Han SA, at han IKke ville SI det.*
 he NOM. say PAST that CONJ. he NOM. not ADV. will PAST say INF. that PRON.
 [han M ¹sá: H(R) at M (h)an M ²íjʃə FM vilə MM ¹sæ̃ H(R) rə L]

「彼はそんなと言わないと言った。」

cf. 単独形: *han* [¹hánn H~F], *ville* [²víllə FL]

- b. *Jeg kan GODT HJELpe dig.*
 I NOM. can PRES. pleased ADV. help INF. you OBJ.
 [e(g) M kan M ¹góʰtt H ²jélpa FM reg L]

「手伝ってあげますよ。」

cf. 単独形: *jeg* [¹é:g H~F], *kan* [¹kʰánn H~F], *dig* [¹dé:g H~F]

group)』と呼んだ単位にほぼ相当するもので、筆者は「リズム単位 *rhythm unit*」と呼ぶことにする。

Sandnes 方言の「リズム単位」を図示すると以下ようになる(σは音節を、||はリズム単位の境界を示す)：

(13) 「リズム単位」の構造

$$\dots ||(\sigma \dots \sigma)\acute{\sigma}(\sigma \dots \sigma)||\acute{\sigma} \dots$$

つまり「リズム単位とは」、(先行する弱音節があればそれも含めて)強勢を担う音節から次の強勢を担う音節の直前の弱音節までのまとまりである。上に示した(12a)では *Han SA at han, IKke ville, SI det* の三つが、また(12b)では *Jeg kan GODT, HJELpe dig* の二つのまとまりがそれぞれ一つの「リズム単位」を形成している。

ここで注意すべきは、いずれのリズム単位も(11)に要約した音調を伴っているという点である。それぞれのリズム単位に被さっている MMHML や FMML、HL といった音調は、いわばリズム単位の結束や境界を韻律的に明示する機能を有していると考えられるのである。筆者は、これらの音調を「単位音調 *unit tone*」と呼ぶことにする。

以上の議論をまとめると、これまで筆者が「広義のイントネーション」として扱ってきた音調は全て「単位音調」として理論的に位置づけることが可能となる。Sandnes 方言における「単位音調」を抽象化並びに図示すると以下の通り：

(14) Sandnes 方言の「単位音調」

$$||(M \dots)\acute{\sigma}(M \dots)(L)||$$

ここで、「リズム単位」並びに「単位音調」という用語について若干の補足を行うことにする。というのも、本研究において「リズム単位」並びに「単位音調」と呼ぶ概念を当初は川上纂(1961)や上野善道(2003)に倣い「アクセント句」並びに「句音調」と呼んでいたが、日本語アクセント研究において提唱されるこれらの概念と筆者が本研究において提唱する概念が異なっており(上野: 私信 2013年6月15日)、不必要な混乱を避けるべく後に用語の修正を行ったためである。

まず、「リズム」という用語を用いた理由について。後述するように、筆者の概念としては「アクセント」とは「語(レキシコン)」が有する韻律的な属性であるため、統語論的な意味での「句」や「文」に相当する構造体に被さる韻律特徴を「アクセント」とは認めない。このような理由から、上野が用いる「アクセント」や Kristoffersen が用いる ‘*accent*’ という用語は避けた。

また、筆者の考える「リズム単位」とは、形態統語論的な意味での単位の「大きさ」に拘らず純粹に韻律的な観点からリズム上のまとまりを成すものである。従って、Grønnum が用いる ‘*tryk* (英 *stress*)’ という用語ではリズムの拍を担わない種々の「ストレス」をも含みうる嫌いがあるため、敢えて「リズム」という語を用いた。

続いて ‘*phrase*」や「句」という用語を避けた理由についてであるが、繰り返しになるが、筆者

(15) Sandnes 方言における音調の構造

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Acc1 (e.g. } \textit{Leninisme}) : \quad / \sigma \sigma ' \sigma \sigma / \\ \text{Acc2 (e.g. } \textit{marmelade}) : \quad / \sigma \sigma ' \sigma] \sigma / \end{array} \right\} + \| (M \dots) \acute{\sigma} (M \dots) (L) \| = \left\{ \begin{array}{l} [\text{MM}\acute{\text{H}}\text{L}] \\ [\text{MM}\acute{\text{F}}\text{L}] \end{array} \right\}$$

の提唱する「リズム単位」は形態統語論的な意味でのサイズは問わないため、Kristoffersen が用いるような ‘phrase’ や日本語アクセント研究で唱えられている「句」という用語では不必要な誤解や混乱を生じさせる嫌いがある。従って、敢えて音韻論や統語論など特定の分析領域に縛られない用語である「単位」という用語を採用したのである。^{*8}

以上、Sandnes 方言において音韻論的に有意義でない音調を「単位音調」なる概念を用いて理論的に位置づけることが可能であることを論じてきた。その際、引用してきた資料はいわゆる形態統語論的な意味での文であったが、確かに句や文に「リズム単位」が現れることが一般的ではあるものの、実際の発話においては一語で「リズム単位」を成すことも理論的にはあり得る。これまで(1)や(2)や稿末の表1と表2などで示した「語」の資料に観察される M や L といった音調も実は「単位音調」の一部であり、これらの音調は語が単独で「リズム単位」を成したがために現れたものに過ぎない。「単位音調」は飽くまでも「リズム単位」の属性であり、語に固有の属性（つまりはアクセント）は主強勢を担う音節に指定される下降調の有無のみなのである。

ここまでの議論をまとめると、これまで考察してきた（形態統語論的な意味での）「語」が有する音調型は、「語」に固有の韻律的な属性である「アクセント」（つまり「下降調の有無」）の上に「リズム単位」の属性である「単位音調」が被さって作られた重層的なものとして分析されると結論づけることができる。Sandnes 方言の音調の仕組みを抽象化し図示すると本頁上部の(15)の通り（音韻表記中の右カギ括弧 $/\downarrow/$ は下降調を指す；また上付きの縦棒 $/\uparrow/$ は強勢を表わす）。

現実の発話では、(15)の右端に記した出力形に加えて、さらに発話の意図などの必要に応じて

「リズム単位」の末尾（形態統語論的には語末や文末などに相当）に上昇調や下降調といったいわゆる「狭義のイントネーション」が現れると考える。

なお、最後に一点、リズム単位と単位音調に関して補足をしておく。というのも、リズム単位の「切れ目」や「まとまり方」、あるいは単位音調の型は決して一定のものではなく、実際の発話の内容に依存するものであると考えられるからである。例えば、既に(7)において考察した三つの *Jeg liker henne*. という文はどの語が文強勢を担うか、いわばフォーカスの置き方の点でのみ異なっていた。しかしながら、談話レベルでのフォーカスの置き方の違いが韻律的にはリズム単位の結束の仕方や境界の位置の違いとして現れており、最終的には単位音調の型、つまりは全体的な文のメロディーの違いとして反映されているのである。このように、リズム単位や単位音調という概念は、統語論的な意味での文構造と対応する固定的なものではなく、むしろ実際の発話では文構造と一致するとは限らず、文や句の内容に応じて柔軟に変動しうるものなのである。

5 結語

5.1 まとめ

以上、本稿では、ノルウェー語 Sandnes 方言の音調の解釈に関してアクセント論の立場から詳細な考察と議論を行った。アクセント対立において真に有意義である特徴を厳密な作業過程を経ることで抽出し、またアクセント対立において余剰的な特徴を「リズム単位」や「単位音調」という新たな概念を導入することにより理論的に処理することで、Sandnes 方言の音調のメカニズムを解明した。

本研究の結論を要約すると以下の通り：

- (15) a. Sandnes 方言は音調の「有無」が音韻論的に有意義な二種類の主強勢をアクセント核とするストレスアクセントを有する。

^{*8} 日本語アクセント論における「アクセント句」という用語の意味とその他の研究領域における用語の誤用に関しては、上野（2011: 322-323）を参照のこと。

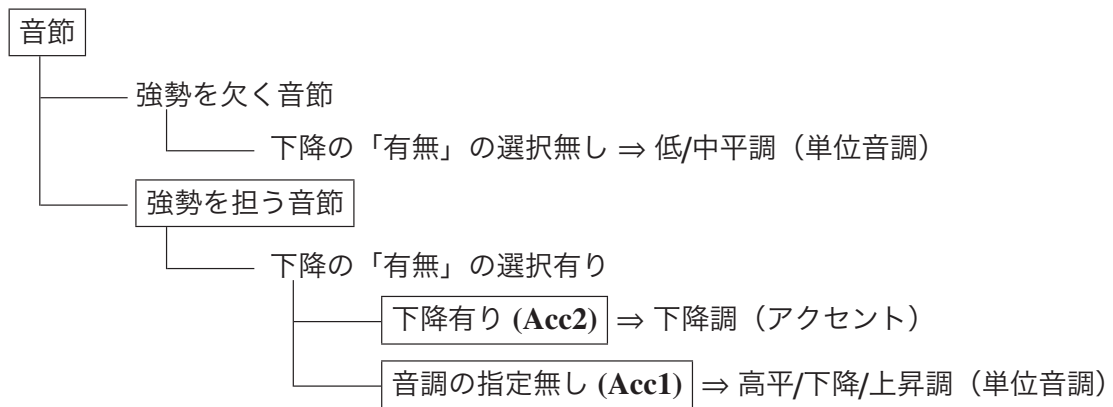


図: Sandnes 方言における韻律構造

- b. Acc1 の音調は当該音節の主強勢が音声的に実現したものであり、語レベルでの音調の指定は不要（日本語アクセント論でいう「無核型」に相当）。
- c. Acc2 の下降調は主強勢を担う音節（モーラにあらず）に与えられた「音調の下がり目」が実現したものである（日本語アクセント論で言う「有核型」に相当）。
- d. Acc1 と Acc2 のいずれの音調型においても、主強勢を担う音節の前後に現れる音調は、全て「アクセント句」の属性である「句音調」が音声的に実現したものである。

本稿での以上の議論を踏まえ、特に強勢と音調との間の依存関係に着目して、Sandnes 方言における韻律構造を図示すると、本頁上部の図のように表わすことができる。

5.2 今後の課題

本稿では、Sandnes 方言の音調に関してアクセント論の立場から詳細な議論を行ってきたが、その一方で、アクセントの基盤を成す強勢に関しては未だ十分な考察を行うことが出来ず、若干の議論の余地が残されたままである。というのも、例えば稿末の表 1 や表 2 に示したように、ひとまずは主強勢の位置は語の特定の音節に限定されないものとして扱ってきたが、これは飽くまでも Sandnes 方言において実際に観察される強勢の型を列挙したに過ぎず、主強勢の分布を決定する音韻論的なメカニズムが背後にあるか否かについては全く議論してはいないからである。

従って、今後の課題としてまず第一に、主強勢の分布が、例えば語（単純語）の音節数や音節構

造、語種などの情報から予測可能であるかどうか、詳細に検討していく必要がある。

また、ノルウェー語のその他の方言やスウェーデン語など、Sandnes 方言と同じく音韻論的に有意義な音調を有する言語のアクセント記述において、本研究で提唱したアクセント論的解釈や「リズム単位」並びに「単位音調」という概念が有用か否かの検証を行うことも課題である。

特に Bokmål は、(16) に示すように Acc1 では主強勢を担う音節に「低平調 (L)」が現れ、音声学的には極めて不自然な音調を示す（三村 (2005: 71, 2010: 184)；本稿での表記と統一を図るために音調表記などを一部改編）：

(16)

- a. *bøndene* [¹bón.nə.nə] LLR 「農夫 (pl.def.)」
(< *bonde* [²bón.nə] FR) 「農夫 (sg.indef.)」
bønnene [²bón.nə.nə] FLR 「豆 (pl.def.)」
(< *bønne* [²bón.nə] FR) 「豆 (sg.indef.)」
- b. *Karolina* [¹ka.ru.íi.nə] HHLR (人名)
Karoline [²ka.ru.íi.nə] HHFR (人名)

この低平調を本研究において提唱した「単位音調」の概念をもって扱うことができるかどうか、今後、更なる調査を通じて明らかにしていきたい。

さらに、同じくノルド諸語に属するデンマーク語のように主強勢を担う音節の音調が音韻論的に有意義でない言語において、本研究で提唱した「単位音調」の概念が有益か否か検証を行うことも今後の課題である。既に三村 (2003) において指摘したが、首都コペンハーゲンの方言を主に基盤とする標準方言では、主強勢を担う音節は低く平らな音調を伴う傾向にあり、音声学的にはいささか

不自然であると言える。従来、このような音調は「イントネーション」という用語のもとで扱われているが(例えば Grønnum 1992)、本稿で提唱した「単位音調」の観点から処理が可能か否か検討に値する。「単位音調」の概念とデンマーク語のような音声学的に不自然な「イントネーション」を有する言語の考察を通じて、いわゆる「イントネーション」と呼ばれる現象の本質の解明へと繋げたい。

謝辞

本稿は、北海道言語研究会第6回例会(2013年3月6日、室蘭工業大学; 三村(2013a))並びに日本言語学会第146回大会(2013年6月15日、茨城大学)における配布資料及び予稿集原稿に、加筆と修正を加えたものである。口頭発表に対して貴重なご意見を下さった聴衆諸氏にこの場をお借りしてお礼申し上げる。

また、本稿に対して有益なコメントを下さった二名の査読者にもこの場をお借りしてお礼申し上げます。

引用文献

- (1) Borgstrøm, Carl Hjalmar (1938). Zur Phonologie der norwegischen Schriftsprache. *Norsk Tidsskrift for Sprogvidenskap* 9, pp. 250-273.
- (2) Dommelen, Wim A. van (1999). Preaspiration in intervocalic /k/ vs. /g/ in Norwegian. Eds., John J. Ohala et al. *Proceedings of the 14th International Congress of Phonetic Sciences, San Francisco 1-7 August 1999* Vol. 3. Berkeley: Linguistics Department, University of California, pp. 2037-2040.
- (3) 福盛貴弘 (2002). 「つかさアクセント考」. 『認知科学研究』第一号. 室蘭認知科学研究会, pp. 21-40.
- (4) Grønnum, Nina (1992). *The groundworks of Danish intonation: An introduction*. Copenhagen: Museum Tusculanum Press.
- (5) Grønnum, Nina (2007). *Rødgrød med fløde: en lille bog om dansk fonetik*. København: Akademisk Forlag.
- (6) 城生佰太郎 (2008). 『一般音声学講義』, 東京: 勉誠出版.
- (7) 早田輝洋 (1988). 「「アクセント」早わかり」. 『月刊言語』Vol. 7, No. 3. 東京: 大修館書店, pp. 32-39.
- (8) 早田輝洋 (1999). 『音調のタイポロジー』, 東京: 大修館書店.
- (9) 川上葵 (1961). 「言葉の切れ目と音調」. 『國學院雑誌』62-5, pp. 67-75.
- (10) 川上葵 (1990). 『日本語アクセント論集』, 東京: 汲古書院.
- (11) Kristoffersen, Gjert (2000). *The phonology of Norwegian*. Oxford: Oxford University Press.
- (12) 窪菌晴夫 (2002). 「音節とモーラの機能」. 窪菌晴夫、本間猛編. 『音節とモーラ』, 東京: 研究社, pp. 1-96.
- (13) 三村竜之 (2005). 「ノルウェー語ピッチアクセント再考」. 『日本言語学会 第130回大会 予稿集』, pp. 68-73.
- (14) 三村竜之 (2010). 「ストレスアクセントの多様性: ストレスアクセントの類型論に向けて」. 『東京大学言語学論集』第29号(上野善道先生退職記念号), pp. 183-193.
- (15) 三村竜之 (2011). 「ノルウェー語 Sandnes (サンネス) 方言のアクセント: アクセントの抽出とその弁別の特徴」. 『日本言語学会第143回大会予稿集』, pp. 244-249.
- (16) 三村竜之 (2012a). 「ノルウェー語 Sandnes (サンネス) 方言のアクセント: アクセント抽出の理論と実践」. 『明星大学研究紀要【人文学部 日本文化学科】』第二十回記念号, pp. 77-95.
- (17) 三村竜之 (2012b). 「ノルウェー語 Sandnes (サンネス) 方言におけるモーラに関する一考察: アクセント解釈と音節の「寸詰まり」現象に関連して」. 日本音韻論学会 2012 年度春期研究発表会 (2012 年 6 月 15 日、首都大学東京秋葉原サテライトキャンパス・産学公連携センター).
- (18) 三村竜之 (2012c). 「ノルウェー語 Sandnes (サンネス) 方言における前気音の音韻論: 無声閉鎖音の解釈と関連づけて」. 『日本言語学会第144回大会予稿集』, pp. 162-167.
- (19) 三村竜之 (2013a). 「ノルウェー語アクセント再考: 句音調の提唱とアクセント論的解釈」. 北海道言語研究会第6回例会(2013年3月6日 室蘭工業大学).
- (20) 三村竜之 (2013b). 「ノルウェー語 Sandnes (サンネス) 方言のモーラ: 記述言語学的な視点から」. 北海道言語研究会編. 『北海道言語文化研究』11, pp.49-62.
- (21) 三村竜之 (2013c). 「ノルウェー語 Sandnes (サンネス) 方言における「アクセント句」と「句音調」の提唱」. 『日本言語学会第146回大会予稿集』, pp. 342-347.
- (22) Mimura, Tatsuyuki (2003). Stress accent in Danish. 『東京大学言語学論集』22, pp. 259-291.
- (23) Oftedal, Magne (1947). Jærskje okklusivar. *Norsk Tids-*

skrift for Sprogvidenskap 14, pp. 229-235.

- (24) Selmer, Ernst W. (1927). *Den musikalske aksent i Stavanger-målet*. Oslo: Det norske videnskaps-akademi i Oslo.
- (25) Swahn, Jan-Öjvind, et al. (1989). *Bra Böckers Leksikon*. vol.17. Höganäs: Bokförlaget Bra Böcker.
- (26) 上野善道 (1980). 「アクセントの構造」. 柴田武編. 『講座言語第1巻 言語の構造』. 東京: 大修館書店, pp. 87-134.
- (27) 上野善道 (1984). 「N型アクセントの一般特性について」. 平山輝男博士古希記念会編. 『現代方言学の課題2 記述的研究篇』. 東京: 明治書院, pp. 167-209.
- (28) 上野善道 (1989). 「日本語のアクセント」. 『講座日本語と日本語教育2 日本語の音声・音韻(上)』. 東京: 明治書院, pp. 178-205.
- (29) 上野善道 (2003). 「アクセントの体系と仕組み」. 上野善道編. 『朝倉日本語講座3 音声・音韻』. 東京: 朝倉書店, pp. 61-84.
- (30) 上野善道 (2011). 「アクセント単位」. 城生佰太郎, 福盛貴弘, 斉藤純男編著. 『音声学基本辞典』. 東京: 勉誠出版, pp. 320-323.
- (31) Vanvik, Arne (1956). Norske tonelag. *Maal og Minne* 1956, pp. 92-102. [Eds., Ernst Håkon Jahr, Ove Lorenz (1983). *Prosodi/Prosody* (Studier i norsk språkviten-skap 2). Oslo: Novus forlag, pp. 209-219.に再録]

付録 1 : Acc1 と Acc2 の強勢型ならびに音調型

縦軸のアラビア数字は語頭から数えた主強勢の位置を、また横軸のローマ数字は音節数を表わす。表中の「—」は該当する語が存在しないこと (accidental gap) を表わし、網掛けの箇所は構造上の理由から該当する語が存在しないこと (structural gap) を表わす。なお、音声表記は割愛した。

表 1 Acc1 の強勢型と音調型

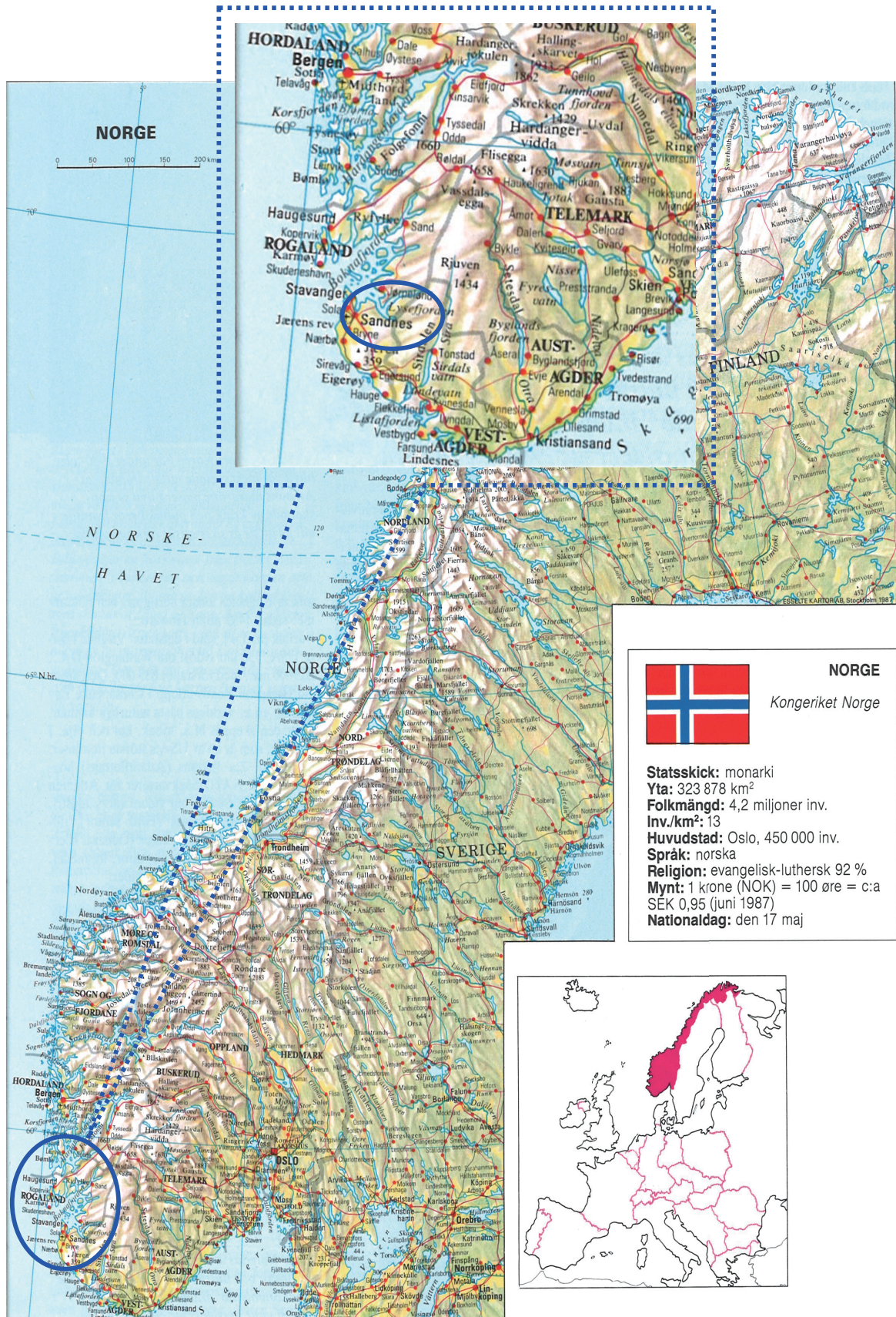
	I	II	III	IV	V...
1	<i>gi</i> [H] 「与える」	<i>vinter</i> [HL] 「冬」	<i>ananas</i> [HML] 「パイナップル」	<i>reserbane</i> [HMML] 「サーキット」	<i>språkskolelærer</i> [HMMLL] 「語学教師」
2		<i>byrå</i> [MH] 「事務所」	<i>artikkel</i> [MHL] 「記事」	<i>narkotika</i> [MHML] 「麻薬」	<i>karbondioksid</i> [MHMML] 「二酸化炭素」
3			<i>appelsin</i> [MMH] 「オレンジ」	<i>Leninisme</i> [MMHL] 「レーニン主義」	<i>paradisepple</i> [MMHML] 【植物名】
4				<i>epidemi</i> [MMMHL] 「疫病」	<i>memorisera</i> [MMMHL] 「記憶する」
5 ⋮					<i>universitet</i> [MMMMHL] 「大学」

表 2 Acc2 の強勢型と音調型

	I	II	III	IV	V...
1	—	<i>kake</i> [FL] 「ケーキ」	<i>menneske</i> [FML] 「人間」	<i>sparebørsa</i> [FMML] 「貯金箱」	<i>overvektige</i> [FMMLL] 「肥満の」
2		—	<i>rutine</i> [MFL] 「日課」	<i>allikevel</i> [MFML] 「しかしながら」	<i>reklamebyrå</i> [MFMML] 「広告会社」
3			—	<i>marmelade</i> [MMFL] 「マーマレード」	<i>krokodilletegn</i> [MMFML] 「不等号」
4				—	<i>humaniora</i> [MMMFL] 「人文科学」
5 ⋮					—

付録2：ノルウェー王国と Rogaland 県並びに Sandnes の位置関係

(Swahn et al. (1989: 157) を基に作成)



地方自治体による電力計画の策定に向けた一考察

小野 悟^{*1}, 永井 真也^{*2}Research on the Electricity Planning of Local Governments
in JapanSatoru ONO^{*1}, Shinya NAGAI^{*2}

(原稿受付日 平成 25 年 6 月 28 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

Japan's electricity policy is under re-examination after the Great East Japan Earthquake and the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident. That accident spread invisible radioactive material in large quantities. Opposition to nuclear power generation has increased greatly. However, few are sure that renewable energy alone can replace nuclear power generation. Solar photovoltaic and wind power generation costs are high, and they are a relatively unstable source of energy compared with nuclear power generation and thermal power generation. In the near future, in order to develop renewable energy efficiently, the separation of electrical power production from the power distribution and transmission process will occur. When that happens, the electricity market will become much more competitive. Local governments will have to manage electric power themselves, and have to plan for a stable supply.

Keywords : Japan's electricity policy, Local Government, Renewable Energy,
Regional Environmental Right

1 はじめに

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災以降、福島第一原子力発電所事故の影響もあって、わが国のエネルギー政策の方向性は見直しを迫られている。これまでのわが国のエネルギー政策は、2009 年の「鳩山イニシアチブ」で、2020 年度までに 1990 年比で二酸化炭素排出量 25%削減を目標に掲げ、クリーンなエネルギー源として原子力発電を推進してい

た。

しかし、震災後の新しいエネルギー政策の方向性は、自然エネルギーを活用した再生可能エネルギーの推進による原子力エネルギーからの脱却と考えられる。象徴的なのは、2011 年 4 月 10 日の神奈川知事選挙での「かながわスマートエネルギー構想」を掲げた黒岩知事の誕生である。創エネ、省エネ、蓄エネの再生可能エネルギーを積極的に推進するという政策に住民の支持が集まった。また、現在の原子力発電所の運転停止の状況下では、ライフラインである電力への住民の関心は、さらに大きいと考えられる。

*1 室蘭工業大学大学院博士前期課程公共システム工学専攻平成 25 年 3 月修了

*2 室蘭工業大学 ひと文化系領域

これまでも先行研究として地域独占や料金設定に係る研究(例えば、篠原総一・西村理・平山健二郎(2003) 参照)がなされており、電力市場の現状に関する分析は先行研究によるものである。さらに最近の研究では、政府の固定価格買取制度の導入によって再生可能エネルギー導入への環境が整ったので、馬上(2013)の再生可能エネルギーと地域経済に関する研究や、より具体的な諸富(2013)の事例分析が行われている。本稿の新規性として、条例や自治体計画の視点から分析を行っている。本稿は、再生可能エネルギーに関する条例を定めた先進自治体の動向を分析し、さらに住民に近い地方自治体の責任としての電力供給への関わりへと議論を展開している。

2 電力と自治体の関係

ライフラインである電力の重要性を、東日本大震災は改めて認識させた。

私たちの生活に係るサービスは公共性を帯びているために、政府の厳しい規制の下で供給される。その理由は、財の生産に大規模なインフラを必要とする場合、そこでは「規模の経済性」が働いて自然独占が発生し、独占利益が生ずるからである。独占企業による独占利益を抑制するために、国や地方自治体が直接に事業を行うこともある。

わが国では、民間事業者が電力事業者として供給を担っており、政府は規制によって電力市場をコントロールしている。電力市場は全国10地域に分割され、それぞれ1社が独占的に供給を行う「地域独占」の状態にある。政府はライフラインであ

る電力に独占の弊害が及ばないように規制によってコントロールしている。規制によるコントロールは、電力以外にもガスや公共交通などインフラ関連の分野で政策手法として用いられる。

これまでも、自治体が電力供給に乗り出すことはあった。自治体は企業体を設立し、直接にサービスを提供することができる。設立の要件は地方公営企業法の第3条に規定があり、「常に企業の経済性を発揮するとともに、その本来の目的である公共の福祉を増進するように運営されなければならない。」というだけである。ここでの経済性とは黒字経営という意味で、税金からの赤字補てんは想定していない。黒字かつ公共の福祉に役立つのであれば、公営企業の設立によるサービス供給は可能である。

公営企業の事業種は第2条に、水道事業(簡易水道事業を除く)、工業用水道事業、軌道事業、自動車運送事業、鉄道事業、電気事業、ガス事業とある。他に自治体立病院なども可能である。現在、地方公営企業によって電気事業が行われているのは、都道府県の企業局などがダム発電を行っている場合である。

この地方公営企業法で電力事業が認められていることを広く解釈すると、以前から電力事業は地方自治体が関与する公共的なサービスとして考えられているのである。

3 電力市場と地域独占

独占禁止法の適用除外として、電力事業者に地域独占が認められている理由は、規模の経済性が

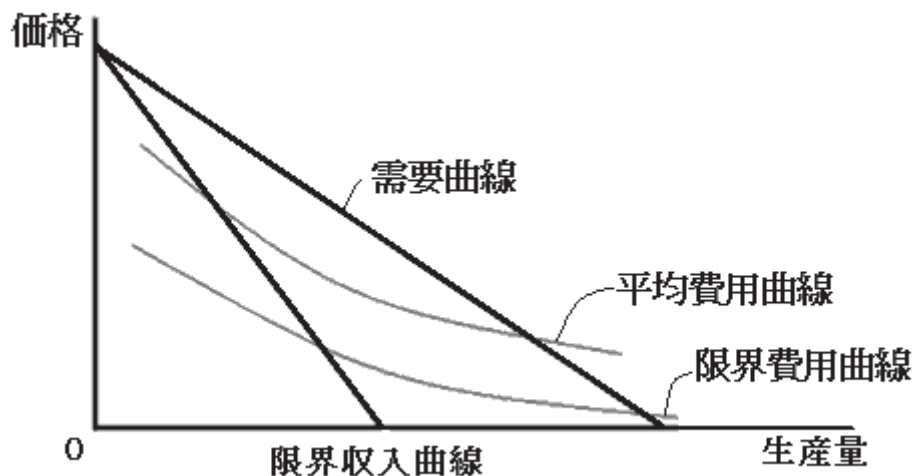


図1 費用逓減産業の平均費用曲線と限界費用曲線

働き、生産規模の拡大にともなって生産財 1 単位当たりの限界費用が逡減するという特徴があるからである。費用逡減産業（図 1 参照）では、常に規模の大きい企業の生産コストが安く、先に市場に参入した企業ほど規模が大きく有利であるとされている。最終的に、市場の淘汰を経て残った 1 社の自然独占になる。わが国の電力市場でも、過去に独占化が進んだ時期がある。橘川（2012）によれば、明治の時代から昭和の戦前までの期間（とくに競争が激しかった 1907-1931 年）は、民間の電力会社や公営企業が 600 社以上存在したこともあったが、1932 年の電力連盟設立時には、五大電力による寡占の状態になっていた。このことから、電力の独占化は歴史的な事実である。その後、現在の地域独占による電力供給体制となったのは、戦後の GHQ によって全国九電力（沖縄を除く）へと分割されてからである。

しかし、地域独占を認める背景となる規模の経済性について検証を行った根本（1992）では、アメリカの火力発電の規模の経済性は確認されているが、大規模な発電施設を備える日本の場合、規

模の経済性を確認しえていない。むしろ、電力業界全体として送電部門の効率が有利に働いていることを明らかにしている。

わが国の電力市場において、規模の経済性が確認されていないのであれば、電力事業の地域独占を認めずに、電力事業への自由な参入を認めるべきである。一方、発電ではなく送電のほうに規模の経済性があるならば、送電のみを規制の対象とすればよい。

わが国の電力行政は、制度上は地域独占を前提にしてきたが、裏付けとなる規模の経済性の論拠に乏しく、電力市場への新規参入を拒むべきではない。電力システム改革専門委員会で議論している発送電の分離による競争政策は妥当である。

4 再生可能エネルギーへの取り組み

震災以後の原子力発電所の運転停止によって電力の需給バランスが崩れ、計画停電の発生など、電力という財の過少供給への対応が政府の課題となっている。価格のコントロールの限界はその方

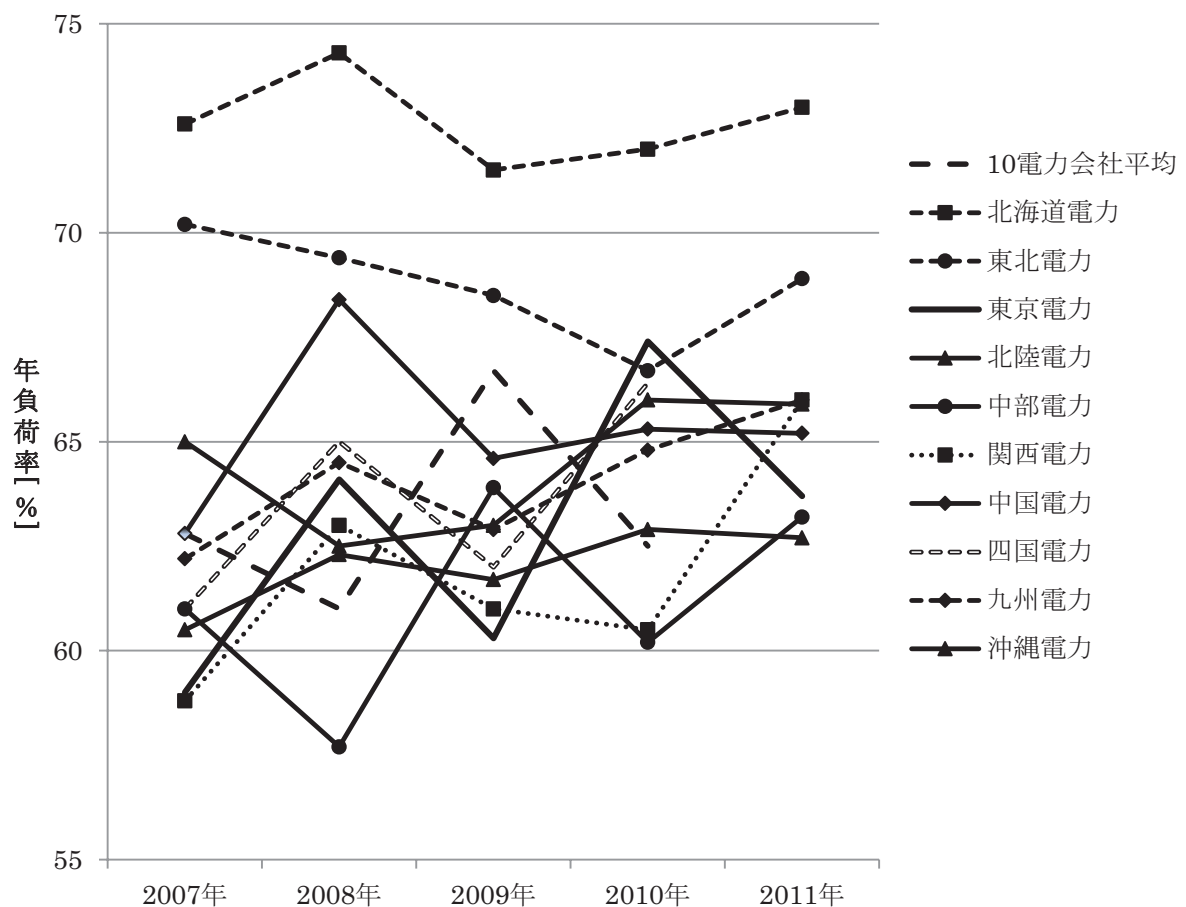


図2 年負荷率の推移（各電力会社のホームページよりデータを収集し作成）

式ゆえに明らかであり、他にできることといえば需給バランスを崩さないよう消費者に節電を呼びかけるぐらいである。

資源エネルギー庁の資料では、原子力発電は常に動かし続けるベース電源として、稼働ベースでは全体の発電量の 30% を占めていた。

だが、発電能力では全体の 20% に満たず、原子力発電を停止させても、残りの 80% の電源で電力を賄うことになる。

図 2 は電力会社の年負荷率（年間の最大電力に対する年平均需要電力の比率）の推移を表している。各電力会社は 60-70% 代の水準にあるので、夏の需要のピーク時さえ乗り切ることができれば、電力の需給バランスが崩れることはない。北海道電力を除く 9 電力では夏場がピークであり、太陽光発電などの再生可能エネルギーの普及が急務である。

再生可能エネルギーによる電力の固定価格買取制度が 2012 年 7 月に導入されて、まだ日が浅いこともあり、再生可能エネルギーへの対応は自治体によって異なる。例えば、神奈川県「創エネ、省エネ、蓄エネ」のエネルギー政策は、創エネによる電力供給の増加、省エネによるピークカット、蓄エネによるピークシフトを行うものである。神奈川県では、ピークに電力消費量が急増する時間を乗り切るために、特に創エネに力を入れ、神奈川県の全世帯の半分にあたる 200 万戸にソーラーパネルを設置するという計画しており、「かながわソーラーバンクシステム」（2011）と銘打って太陽光発電を普及させようとしている。

神奈川県以上に資金面で太陽光発電を促進した東京都は、国の補助金に加えて都や区も補助金を設けており、例えば杉並区では標準的な 3.5kw タイプを導入すると、補助金は合計 57.5 万円になる。

省エネとして、LED の普及だけでもかなりの効果があり、また小まめな節電も呼びかけている。節電にはリアルタイムで電力消費量と電力単価から電力コストを知らせるスマートメーターの導入が効果的であり、欧米ではすでに普及している。スマートメーターの導入後、ピーク時に高い電気料金を設定すると、ピークの時間帯の消費が抑制される。

補助金や固定価格買取制度等、個人のインセンティブを刺激する国や各自治体の電力政策の効果によりソーラーパネルの普及は進んでいる。

5 再生可能エネルギーに関する条例の制定

再生可能エネルギーを推進するために条例を定めた自治体は少なく、日南町（2011）、大阪市（2012）、湖南省（2012）、鎌倉市（2012）、新城市（2012）、土佐清水市（2013）、飯田市（2013）、多治見市（2013）、唐津市（2013）などがある。北海道内では、ニセコ町が再生可能エネルギー導入検討委員会設置条例（2011）を設けている。

これらの自治体の条例の内容は、再生可能エネルギーを推進しようという点では同じであるが、どこまでを再生可能エネルギーの範囲とするかにおいて違いがある。再生可能エネルギーとして条例に記載されているものは、太陽光、太陽熱、風力、水力、バイオマス、バイオエタノール、熱の再利用である。

条例の制定で先行した日南町の再生可能エネルギー促進条例は簡素な構成で、目的、定義、町の責任、町民の責任、その他、の全 5 条だけである。その後に定められた他市の条例では、再生可能エネルギーの定義、自治体、住民、事業者それぞれの役割が記載され、次第に内容が充実してきている。

特徴があるのは、再生可能エネルギーの促進に向けた「数値目標」のある計画の策定を条例に定めている鎌倉市と新城市、再生可能エネルギーを「地域の固有の資源」と定めている新城市と土佐清水市である。

環境未来都市にも選ばれた飯田市の条例は、固有の資源の概念を超え、再生可能エネルギーを利用する権利を市民が有しているとして「地域環境権」を提示した上で、（第 3 条に）「飯田市民は、自然環境及び地域住民の暮らしと調和する方法により、再生可能エネルギー資源を再生可能エネルギーとして利用し、当該利用による調和的な生活環境の下に生存する権利（以下「地域環境権」という。）を有する。」としている。さらに、地域環境権を行使するための計画の策定や、飯田市再生可能エネルギー推進基金の設置も定められている。飯田市の条例は、再生可能エネルギーの推進を地域の問題としている。

馬上（2013）は、地域の自然資源を活用したエネルギーとして再生可能エネルギーをとらえた場合に、その地域に利益がもたらされるかどうかの視点が欠けていると指摘する。「地域外から資本を誘致し、土地を提供してメガソーラーが完成したとしても、20 年間の固定価格買取期間中に地元が得る利益は微々たるものである」（p.191）ので、地

域のためになるよう「地域住民や企業がエネルギー事業の事業主となり、地元資本によって資源開発がなされなければならない」(p.190)と述べている。再生可能エネルギー促進条例には、地域資源、地元主体、地域の利益が盛り込まれなくては、地域の活性化に結びつかない。

諸富(2013)は、飯田市の事例をコミュニティ・ビジネスとしての電力事業と注目している。「その第1の理由は、それが地域で経済(資金)循環を形成していくことに資するからである。2012年7月に導入された「再生可能エネルギー固定価格買取制度」は、コミュニティ・ビジネスとしての電気事業を可能にしてくれる千載一遇の機会である」(p.9)として、地域の資源が地域に利益をもたらすシステムの構築の重要性を述べている。地域の経済(資金)循環システムは、まさしく自治の問題である。

再生可能エネルギーの普及方法は、個人のインセンティブの刺激から、自治体レベルでの地域の協力へと広がりを見せている。

6 オーストラリア・イラワラ郡の事例

オーストラリアは石炭の産地として有名で、石炭火力発電所が多く、原子力発電所はない。だが、石炭火力発電に対しては批判的で、地球温暖化など環境問題への意識の高まりもあってCO₂の排出に対する炭素税が導入されている。震災以後に再生可能エネルギーへの意識が高まったわが国よりも、早くから再生可能エネルギーの普及に取り組んでいる。

ニュー・サウス・ウェールズ州のイラワラ郡では、「イラワラ郡の環境による雇用拡大行動計画(Green Jobs Illawarra Action Plan)」(2009)をイラワラ実行委員会(Illawarra Steering Committee)が作成している。委員会は、ウロンゴン大学、イラワラ職業訓練所、南部の自治体、南海岸労働組合、イラワラ商業組合、オーストラリア工業組合から構成され、それらは地域の主な団体である。地元自治体はメンバーの一員にすぎず、地域全体の協力で環境問題に取り組んでいる。この地域では再生可能エネルギーの導入に数値目標を設けている。

この行動計画には、再生可能エネルギーへの取り組みだけでなく、環境によるまちづくりまで幅広く20項目が盛り込まれている。環境にやさしい住宅や公共物、風力発電、波力発電、コジェネレーション、スマートグリッド、大学との連携、環

境によい生産財のための労働者の教育、学校やコミュニティでの環境への実践といった内容である。計画のタイトルにもあるように、環境に良い取り組みを進めることで新しい雇用を創出しようと地域レベルで取り組んでいる。

連邦制のオーストラリアと中央集権の日本では行政の様式も異なるが、いくつかの自治体が先駆的に環境への取り組みを条例化している段階のわが国の状況に比べて、政策メニューも豊富で、地域全体の問題としてパートナーシップによる運営を行っていることは参考になる。

7 結論と今後の課題

東日本大震災以後、固定価格買取制度によって、再生可能エネルギーの導入は進んでいる。東京都など首都圏では、個人や企業を対象とした補助金による再生可能エネルギー促進政策をとっている。こうした価格メカニズムによるインセンティブの誘発政策は、個人や家計単位で取り組んだ方が早く普及するので、電力需給が逼迫している中では最も有効な方法であるが、持続可能な地域社会という意味では、自然エネルギーを利用する上でのルールを地域社会で策定することが必要である。

飯田市のように、地域のライフラインとしての電力、また地域の資源としての再生可能エネルギーの活用に関わる問題に、自治体が主体的に取り組む必要がある。将来的には、イラワラ郡のように地域全体の問題として、計画的に取り組むべきである。

ただ、現在の再生可能エネルギー普及への課題は供給の不安定さであり、経産省が苫小牧で6万kwhの蓄電施設の建設をうち出し、200億円をかけ2014年度末までに完成する予定である。蓄電施設にはコストの問題があるが、地域単位での蓄電施設を普及させることは重要である。現在の諸自治体の再生可能エネルギー促進条例には、蓄電の記載がなく、地域のエネルギー問題に対応する計画の策定もなく、地域の資源の活用に留まっている。今後の自治体のエネルギー政策の課題として、蓄電への取り組みがある。

さらに、課題として災害時の電力の問題がある。固定価格買取制度では、個人の住宅の電力は余った分だけ売る契約になっているが、大口の電力供給の場合は全量買い取りの制度になっているために、災害時に電力会社の系統電力がダウンすれば、再生可能エネルギーがあっても電力供給を受ける

ことはできない。自治体が大口の再生可能エネルギーへの取り組みに慎重である理由は、災害時の電力として活用できないからである。

しかし、地方公営企業法にも認められている電力事業は、自治体が主体的に供給を管理すべきものであり、その意味も含めて積極的に、再生可能エネルギーの促進と地域の電力計画を策定すべきである。特に計画停電の策定の権限は自治体を持つようにして、積極的にライフラインを守る立場に立つべきである。

わが国のエネルギー政策は、原子力発電の推進から再生可能エネルギーの促進へと移行し、政策の主な目的は、地域独占への規制によるコントロールから、個人・企業レベルでの再生可能エネルギーの促進へと移り、今後は地域レベルでの集約的な資源の循環システムの形成へと移行すると考えられる。本稿では、国の電力政策が限界を迎えたなかで、住民への安定した電力供給には、地方自治体の関与が不可欠であることを述べた。その始まりとして、地方自治体は、まず電力計画を策定するべきである。

文献

- (1) 橘川武郎, 電力改革 エネルギー政策の歴史的転換, 講談社現代新書, 2012
- (2) 根本二郎, 電気事業の規模の経済性:最近の研究の展望, 電力経済研究, No.31、p15-24、1992
- (3) 諸富徹, 「エネルギー自治」による地方自治の涵養～長野県飯田市の事例を踏まえて～, 地方自治, 786号 2013, p2-29
- (4) 馬上丈司, 地方自治体の再生可能エネルギー政策への取り組み, 公共研究 (千葉大学), 9巻1号 2013, p190-206
- (5) 篠原総一・西村理・平山健二郎, インタラクティブ・エコノミクス, 有斐閣, 2003, p221-225
- (6) 黒岩祐治, 地産地消のエネルギー革命 もう原発には頼らない, PHP 新書, 2011
- (7) 電気料金研究会, 市民の電気料金 制度改正とその仕組み, 電力新報社, 1999
- (8) 佐高信, 電力と国家, 集英社, 2011
- (9) 矢島正之, 電力政策再考 エネルギーの市場自由化・環境問題の解決・供給保障の整合性確保のために, 産経新聞出版, 2012
- (10) 植田和弘・梶山啓司, 国民のためのエネルギー原論, 日本経済新聞社出版社, 2011
- (11) 高橋洋, 電力自由化 発送電分離から始まる日本の再生, 日本経済新聞社, 2011
- (12) Laurits R. Christensen and William H. Greene, Economies of Scale in U.S. Electric Power Generation, Journal of Political Economy, Vol. 84, No. 4, Part 1(1976), p655-676
- (13) John Farrell, Renewable energy economies of scale are b.s., <http://grist.org/article/2010-11-12-renewable-energy-economies-of-scale-are-b-s/> (2013.10.28)

生徒と教師間における「ゆとり教育」の受け止め方の比較

今野 博信*

A Comparative Research on Acceptance of
“YUTORI KYOIKU” in Students and Teachers

Hironobu KONNO*

(原稿受付日 平成 25 年 6 月 28 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

In 2008, its dispute began to diminish rapidly after the Course of Study was revised to abolish the policy of the "YUTORI KYOIKU". However the students who were educated by the former policy are called as Yutori generation from actual society now. And that means not so good. The reputation by society affect individual greatly. This paper compared the acceptance of "YUTORI KYOIKU" with students and teachers by the analysis of PAC(Personal Attitude Construct). Both of them were affected by the negative evaluation of society. The students were confused because there was no basis of self-evaluation. By some who considered good Course of Study before, reaction of teachers showed complexity. It is necessary to teaching methods that give confidence to students and teachers will be discussed.

Keywords : Cram-free Education, Dispute on Learning Performance, Confidence, Personal Attitude Construct(PAC)

1 問題と目的

2008 年に改訂された学習指導要領に「脱ゆとり」色が反映されたことで、それまで社会的に関心を集めていた学力低下論争は下火に向かった。この学力低下問題と、いわゆる「ゆとり教育」との因果関係は明示的に実証されたものではなかったが、2009 年から新指導要領⁽¹⁾の移行措置が始められ、算数・数学と理科に関しては、総則などと共に先行実施されるなど急激な変化がもたらされ、混乱の可能性も想定されていたが、議論は収束化した。

既に小学校では 2011 年から、中学校では 2012 年から新指導要領は全面実施されており、高等学校でも 2015 年には全面実施が予定されている。以前の学習指導要領による、いわゆる「ゆとり教育」と称される教育を受けた世代は、既に社会人となって数年を経た者から高校 3 年生(2013 年現在)までとなる。

いわゆる「ゆとり教育」世代が、社会一般でどのよ

うに見られているかの例では、柘植(2012)によれば新入社員として見た場合の特徴が下記の 5 点にまとめられている⁽²⁾。①決断する、まとめるといったことができない。②チームワークが苦手、個を尊重しすぎて衝突や摩擦を避けようとする。③メンタルが弱く、“できない”というイメージを持ってしまう。④責任感がなく、自由を履き違えている。⑤コミュニケーションが苦手な対応力がない。

継続して多様な業種の会社で新入社員研修の講師を務めてきた柘植は、自らの体験から上述の傾向が強くなってきていると述べている。さらに、今後はより一層「ゆとり教育浸透度」の高い新卒者の時代が到来することを警告している。たとえば、「いま社会に出てきている新卒者も、完全にゆとり教育だけを受けてきたわけではない」のであって、「(2012 年)現在の十六、十七歳に至っては、小学校から高校まですべて公立学校に通っている場合、ゆとり教育を 100%受けてきた」と強調しているのである。

このような話題の取り上げ方は、ゆとり教育による弊害をどのように回避するか、または、ゆとり世

*学泉舎 (室蘭工業大学非常勤講師)

代をどのように戦力化していくか、といった視点に立っていることを示している。この例以外にも、経済誌などの記事タイトルには、『ゆとり教育』を受けて入社した社員を企業はどのように受け止め、どう対応しているか、「チェックリスト付 ゆとり教育世代に上手に仕事を教える方法」、「ゆとり教育世代の『低体温社員』があなたの部下に」などが並び、同様の視点に立つ記事が多いことをうかがわせる⁽³⁾。

「ゆとり教育」を受けた当事者は、社会の中に、自分たちの世代を問題視する視点があることを常に意識させられることになる。この特別視への反応も含め、佐藤(2012)では、「ゆとり教育」の当事者が自分の受けた教育をどのように認識しているかを、大学生の実態から継続して検討している⁽⁴⁾。その報告のアンケート結果によれば、教職科目を受講する学生 58 名の中で、「ゆとり教育」の印象を問う設問に 55 名がマイナスイメージを記述していた。この回答には、自身の体験からの印象以外に、社会一般でなされる論評などからの印象も含まれている。

一方で、受講生がこれからめざしていく教師の立場から、子どもが望むゆとり（学習者の立場から見た理想のゆとり）があることは望ましいかを問う設問では、望ましい 29 名、望ましくない 12 名、どちらとも言えない 12 名、不明 5 名であった。ゆとりが「望ましい」とする回答が半数に及んでいる結果について佐藤(2012)は、「学校における本来のゆとりのヴィジョンを多くの学生が支持的表現で描いている」と読み取っている。「ゆとり教育」に対する一般的な印象と、自分が個人として関わる状況での印象には、当事者自身の中でも違いがあることが推察される。

このように見てくると、決して「ゆとり教育」が過去の話題などではないことになる。当事者にとっての問題であるだけでなく、社会にとっても当該世代の対応や処遇を考えなければならないという、現在も進行しつつある課題といえる。そして、この教育を受けた当事者にとっては、これからの個人の生涯にわたって意識化されるようなラベルとして機能することが想像される。さらに、学校教育の中に「生涯学習」の考え方が組み込まれてきたという経緯もある⁽⁵⁾。つまり学校教育は、個人の「生涯学習の基礎となる力を育成する」ような制度化が進められてきた。この「基礎となる力」が、いわゆる「ゆとり教育」によって形成された場合には、その学習スタイルが生涯に及ぶことになり、社会の側からのラベリングと相まって個人の内と外の両方向から、一つの教育施策の結果が個人の人生に影響を及ぼすことになる。

そしてさらに、一定の年代層に与えられた一般的なラベルとは別なたちで、個人ごとに違った「ゆとり教育」に対する印象が形成されている可能性がある。その点の議論については、個人の思いを引き出せる調査方法によって、記述検討されなければならない。アンケートなどの集団を対象にした調査によると、「ゆとり教育」のマイナスイメージが抽出される例が多いが、当事者個人にとって自分自身を否定的に見なすような一般的な評価は、受け入れ難いものに思われる。そこにある矛盾をすくい取り、個人の思いを支えることで、世代論的なマイナスイメージを乗り越えるための方策が検討可能になる。

さらに、「ゆとり教育」の当事者を論じる際には、教育を受けた側だけではなく、教育を授けた側も対象としなければならないはずである。ところが、教員向けのアンケート調査でも、「ゆとり教育」についての設問がない場合が多い。これは、用語の定義が厳密化できないことにも原因がある。そのような中で、「総合的な学習の時間」を「ゆとり教育」の象徴ととらえた 2007 年の調査⁽⁶⁾がある。その結果には、「総合的な学習の時間」の時数を削減したり無くしたりしてもよいとする、反対意見が多かった。また、小学校よりも中学校において反対意見をもつ教員が多く見られ、その傾向は前に実施した 2002 年調査と同様の傾向であったことが示されていた。

さらにこの調査では、小学校教員のみであるが、「総合的な学習の時間」を指導することが得意かどうかを聞き、その回答と標準時数の増減の意見を関連させて調べている。集計によると、「得意」な教師ほど「時数は現状を維持したほうがよい」と回答する割合が高く、「苦手」な教師ほど「なくしてもよい」と回答する割合が高いことが示された。しかし、この場合も教師個人の「ゆとり教育」の印象が直接に検討されたわけではない。教師も学生と同様に、社会一般の評価を内面化した総論的な印象と、教師自身が個人として関わる部分での個別の印象をもつのであろうか。

こうした、教師個人の「ゆとり教育」に対する態度には、つぎのような視点からの問いかけもある。佐藤(2012)によると、受講学生から『ゆとり世代の子らはこんなこともできひんくて困るわ』と上の世代から言われる」と書かれたレポートがあったという。同趣旨のものは多く、それらに対して「教育内容の削減について子どもたちに責任はありません」と返してから佐藤は、もしその発言が教師からなされたのであれば、「教師はその責任を免れないと思いま

2 方 法

2. 1 事前アンケートの集計結果

筆者が担当する教職科目の授業開始時期である2012年10月と、終了期の翌年1月の2回、授業の感想記入に合わせて受講学生に質問し、回答を依頼した。「ゆとり教育」と聞いて連想する単語を5個以内と、それぞれがプラスのイメージ(○と表記)なのか、マイナスのイメージ(×と表記)なのか、またはどちらも決めかねるもの(△と表記)なのかの記述を求めた。得られた項目の合計は195で、内訳は、○が47、×が100、△が48であった。×の多さが際立っており、○や△の2倍以上となった。○の最多は「学校週5日制」で16、×の最多は「学力低下」で21、△の最多も「学校週5日制」で11であった。3分類のいずれにも共通して見られた単語に、自主性・創造性・総合学習があった。

この結果から、特徴的な項目として、記述数最多の「学力低下」と、○×△の3分類に共通して見られた「自主性」の二つを選び出した。

2. 2 調査協力者

学生協力者はM大学工学部の学生で、調査協力の依頼に応じた5名。教職科目の受講生とその友人知人の学生。全員男子で、学年は1年生から4年生までであった。

教員協力者は公立の小中学校に勤務する6名。女性1名と男性5名。勤続年数は十数年から三十年の幅があった。調査依頼に応諾を得られた協力者に次の仲介を依頼するなどして、協力者を募った。一般教員5名と管理職1名であった。

調査には任意で協力してもらうこと、結果の集計や公表には個人情報への配慮があることなどを説明し了承を得て実施した。

2. 3 提示刺激

イメージ喚起のために、つぎの教示を読み上げによる音声と、文章提示により協力者に示した。

「あなたは、『ゆとり教育』という言葉聞いたことがあると思います。概ね1987(昭62)年～1995(平7)年生まれで、現在、高校2年生から大学卒業後3年目ぐらいの人が受けた教育とされています。

あなたは、この『ゆとり教育』という言葉に、どのような印象をもちますか。浮かんだイメージについて、どのようなものでもいいので教えてください。

実際に『ゆとり教育』という言葉が使われた場面

す」と指摘している。レポートには他に、「先生に『前はもっと広く勉強した』と言われた」ことや、「小→中、中→高の時、『進学前にならなかつたはず』と言われることが多かった」と書かれたもの、「高校で、中学校で習っていないことについて同情、嘲笑された」と書かれたものがあつたと報告されている。教師に向けた生徒の側からの思いと、教師の側はその思いをどのように受け止めているのか、実態について検討する必要があると考えられる。

これまで、「ゆとり教育」そのものについては定義も含め言及してこなかった。それは、本稿で対象としているのが、一般的に受け止められている「ゆとり教育の印象」だからである。厳密に定義づけされた概念よりも、こうした印象の方が、現実には人びとの判断に強く影響を与えている実態がある。そのことは、例えば扇情的なタイトルの記事の多さからもうかがうことができる。そして、このような環境の中で、「ゆとり教育」の当事者としての生徒と教師は、それぞれの印象を形成している。

そこで、本稿の目的は、生徒と教師が「ゆとり教育」を受け止めた印象を比較することで、一つの教育方針の結果が個人へ浸透する実態を検討しようとするものである。その印象比較には、個人の内面に迫りやすく、当人が無自覚な印象も引き出せる可能性のあるPAC分析(個人別態度構造分析:内藤,1997)⁽⁷⁾を用いることにした。

内藤(2011)⁽⁸⁾によると、PAC分析とは、「調査対象者(被検者)自身が暗黙裏に持つスキーマを利用する自由連想を出発点としながら、操作的手続と統計解析を援用し、あたかもカウンセリングのように被検者自身が感覚し感じるものに寄り添いながら聴取していくことで、暗黙裏の認知構造を探索していく単一事例研究法」とされている。「ゆとり教育」についても、調査者による既成の枠組みを当てはめるのではなく、調査協力者がもつ感覚的で自由な発想を引き出せることが期待できる。

また、PAC分析を利用した研究分野について、内藤(2008)⁽⁹⁾では、臨床心理学や看護学、社会学や社会心理学、教授法や授業の分析、日本語教育や多文化間教育など多岐にわたる例が示されている。個人だけでなく、集団を対象にした分析の例として、家族イメージや学級風土に関する研究成果にも言及されている。ただし、今回のような「ゆとり教育」の印象を比較検討するためにPAC分析が用いられた例は見当たらない。

での印象、あるいは自分で使ったときの感じなど、心に浮かんだものを、そのままの順番で教えてください。聞いたままを記録していきます。」

2. 4 手続き

2012 年の 2 月から 3 月の間で個別に面談し、PAC 分析をおこなった。PAC 分析の手順は、内藤(1997)によってつぎのように標準化されている⁽¹⁰⁾。①当該テーマに関する自由連想（アクセス）、②連想項目間の類似度評定③類似度距離行列によるクラスター分析、④被検者によるクラスター構造のイメージや解釈の報告、⑤実験者による総合的解釈。

協力者から評定データを収集する際には、今野・池島(2009)の PAC helper を用いた方法⁽¹¹⁾に依った。具体的には、ノートパソコン上でつぎの手順に従って進めた。

- ①プログラムをダブルクリックでスタートさせて、保存用ファイル名を「半角英数字」で指定する。OK をクリックすると想起項目の入力ページになる。
- ②協力者の想起に合わせて反応語を入力していく。同時に協力者には、渡した紙に自分の言葉をメモ書きしてもらう。最後にその紙と見比べての確認を促し、問題がなければ OK ボタンで重要度評定のページに進む。
- ③入力された想起項目が右側に並んでいるので、その先頭の文字をドラッグして左側に重要だと思う順番に並べ替えていく。協力者が操作に不慣れな場合などで、本人に操作を頼めない場合は、調査者が答えを聞いて代わりに操作する。内容を確認し、OK ボタンで類似度のページに進む。
- ④ランダムな順に想起項目対が最上部と中央部に表示されるので、中央部の項目の先頭の文字をドラッグしながら類似の度合いに合わせて距離を決めていく。この際に、あまり考えすぎないで素早く決めていくように言い添える。右側には、概算の距離とやり直しのためのボタンが配置されているので予め説明しておく。
- ⑤最後が、正負の評定ページになる。ランダムな順で想起項目が表示されるので、その印象について＋△－のいずれかのボタンを選択してもらう。すべての評定が終わると、保存のページになるので、問題がなければそのまま OK ボタンで終了させる。
- ⑥保存されたファイルは、「*bun.txt」「*rui.txt」の名前になっている(*部分は最初に指定した文字列の意味)。「*rui.txt」が HALWIN(HALBAU for

Windows)用の保存形式になっている。「*bun.txt」には想起項目がそのまま記録されており、また、類似度評定の際に項目ごとにかかった時間が秒単位で記録されている。

データ収集後は、クラスター分析用の MS エクセルのアドインソフト⁽¹²⁾を利用してデンドログラムを作成した。その結果の図を表計算 MS パワーポイントでノートパソコンに表示させ、その画面を協力者と共に見ながらインタビューした。

今回は、想起された項目に加えて、事前アンケートの集計結果から選び出した「学力低下」と「自主性」の二つの項目を含めた評定を、協力者に求めた。これらは、事前に筆者が受け持つ教職科目の受講生に依頼して、「ゆとり教育」から連想する単語とその語のイメージがプラスなのかマイナスなのかを調べた中から選び出したものである。ただし、協力者の想起項目の中にこれらに相当する語があった場合は、この付け加えは省いた。この想起項目への付け加えは、松浦(2012)⁽¹³⁾が個人内の時間的展望を検討するために項目を付加したのに対して、今回の分析では共通テーマについての個人間での比較をより客観的に検討できるように企図したものである。この項目付加により、個人のデンドログラムを相互に比較する際に、共通する視座が確保できる可能性に期待した。

各面談に要した時間は、1 時間半から 2 時間程度であった。それぞれの協力者から承諾を得て、会話を録音し聞き返しができるように備えた。

3 結 果

3. 1 学生協力者の結果

想起項目の中に「学力低下」という項目と、それとほぼ同内容と見なせる項目が含まれていたのは、学

表1 正負評定ごとの想起項目数と百分率

	+	△	－	+	△	－
学生 1	2	2	1	40.0	40.0	20.0
学生 2 (B)	2	3	3	25.0	37.5	37.5
学生 3	2	0	7	22.2	0.0	77.8
学生 4	1	4	4	11.1	44.4	44.4
学生 5 (A)	0	4	4	0.0	50.0	50.0
教員 1	4	1	2	57.1	14.3	28.6
教員 2	5	2	2	55.6	22.2	22.2
教員 3 (C)	7	5	2	50.0	35.7	14.3
教員 4 (E)	2	0	3	40.0	0.0	60.0
教員 5	1	2	4	14.3	28.6	57.1
教員 6 (D)	1	4	9	7.1	28.6	64.3

(素点)

(%)

生5名中2名であった。残りの3名には、この項目を付加した。「自主性」については、類似の内容が想起項目に含まれた例はなかったので、5名全員に「自主性」の項目を付加した。

「学力低下」については、重要度順での並び替えで順位が上がった例が、2名で見られた。「自主性」については、同様の順位上昇は3名に見られた。他の項目との類似度の遠近関係では、「自主性」よりも「学力低下」の項目を、類似して近いと評定する学生が3名いた。これら2項目についての比較では、「ゆとり教育」のイメージを構成する要素としてより強く影響を及ぼしたのは、「学力低下」の方だと考えられた。

表1に示したのは、学生と教員の協力者全員分の想起項目の数と割合である。表示の項目数には、想起の後に付加した「学力低下」や「自主性」の項目も含まれている。丸括弧のアルファベットは、デンドログラム図で取り上げる協力者を示している。項目数の多寡や正負評定での偏り方では、学生と教員の間に特別な差異を見つけ出すことはできなかった。

個別の例を検討するため、A学生のデンドログラムを図1に示した。学生協力者5名中で唯一、プラスイメージの想起が全く見られなかった。自発的に想起された6項目に、「学力低下」と「自主性」の2項目を付加している。図中左側の想起項目で、左端の数字は重要度で並び替えた順位を示し、右端は想起された順番である。項目同士の距離が近いと評定されるほど、クラスターはより左側で統合される。図1では最終的には二つのクラスターに統合されており、上部のクラスターはさらに細かい統合で構成されている。下部のクラスターに統合された2項目は、他の項目との関連が乏しく、互いの距離もあまり近くない。孤立した関係の項目と考えられる。

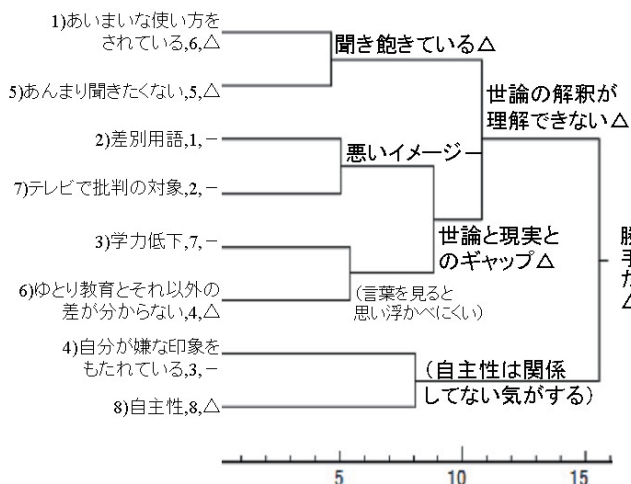


図1 A学生のデンドログラム

付加した2項目のうち「学力低下」は、重要度の並び替えで順位を3に上げている。さらに、他の項目とも近い距離に評定され、統合の位置も左側寄りである。これには、A学生にとって「学力低下」が、「ゆとり教育」の印象を構成する要素として実感を伴うものであったことを示している。一方「自主性」については、重要度順の上昇もなく、他の項目との距離も遠い。「自主性」の要素は、「ゆとり教育」の印象形成にはあまり関与していないと見なせる。

最終的に統合されたクラスターが、「勝手だ」と命名され△の評定になっている。これに主語を補うならば、「社会」や「世間」などが当てはまるものと想像される。場合によっては、「大人」や「教師」が当てはまるのかもしれない。本人による全体を振り返っての感想では、「最後の言葉には、おもしろくないという思いが表れている」と述べている。「ゆとり教育」という言葉を聞くと、すぐにこうした反応が表れてくる、とも述べている。

否定的な感情が、「ゆとり教育」という言葉と結びついているとA学生は言っているが、最終的な評定はマイナスにはなっていなかった。同じように最終統合の評定を△にしたのは、他にもう1名いたが、それ以外の3名はプラスの評定をしている。A学生は4年生で、就職活動の体験もあった。次にそうした体験をもたない1年生であるB学生のデンドログラムを図2に示す。

クラスターの統合は、上下に大きく二つに分かれている。上部のクラスターは左端の重要度順で1・2・6・7の項目で構成されており、周知の事実や自分自身から少し離れた話題を語っているように見ることができる。これに対して下部のクラスターの3・5・8・4の項目では、自分に直接関わってくる話題が統合されていると見なせる。しかし、その関わりの認識に

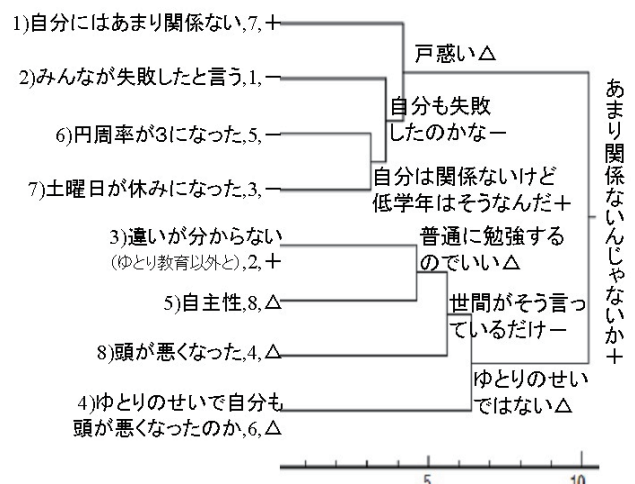


図2 B学生のデンドログラム

については、自分が「ゆとり教育」を受けた当事者だとの自覚は弱く、むしろ自分より年少の世代が該当すると思っっているような反応を見せている。

刺激文の提示の際には、各協力者に生年を基準にして色分けされた「ゆとり教育」の実施年表を同時に示した。そのことで、学生協力者の世代が当事者として該当することが確認されていたはずである。しかし、B学生においては、自分自身が該当することへの意識が、あまり切実なものとなっていないようである。この点は、先のA学生が強い嫌悪感を伴う自己認識をもっていたことと大きく異なる。

B学生にとっての「学力低下」と「自主性」の受け止め方は、他の項目にも見られるように傍観者的な態度になっている。「学力低下」については、当人の説明から「頭が悪くなった」という想起項目が同内容だと見なせたので、項目は付加していない。しかし、この項目は、重要度順の並び替えで最も重要でない最下位に評定された。「自主性」については、重要度順は5に上げられたが、他の項目との関連はとくに強いものにはなっていない。

AB両学生の想起項目で共通するのは、「ゆとり教育とそれ以外の差がわからない」とする内容である。5名の学生協力者の中で、他の3名にはこのような言及はなかった。自分たちが周囲から批評される内容を、自分で比較しようにもその対照にできる他の教授法の体験をもたない、というのは実態を反映した感想といえる。ただし、A学生はこれを△と評定し、B学生は○と評定している。両者で共通する部分は、限定的であると解さなければならない。

学生協力者の全体的な傾向を、最終的な統合クラスターの命名とその正負の評定から描こうとすると次のようになる。統合の命名は、「勝手だ」△、「あまり関係ないんじゃないか」○、「立場の違う他の人のことは分からない」△、「色々な分野を知ることがで

きる」○、「ゆとり教育について自信がある人が居ない」○、であった。「ゆとり教育」から浮かぶイメージには、プラス評定であっても強い積極的な評価が与えられていないように見える。そのことは、否定形で表現された文が多いことからもうかがえる。唯一、「色々な分野を知ることができる」との命名だけが、率直にプラス面を評価しているように見える。ここでは、学生協力者の全員が最終的な命名にマイナスの評定をせずに、プラス評定をしたのが5名中の3名と過半数になっている点に注目すべきだと思う。

3. 2 教員協力者の結果

教員6名中、「学力低下」に関する項目を想起したのは4名であった。想起のなかった2名には、この項目を付加した。「自主性」については、同内容の項目が想起された例がなかったため、6名全員にこの項目を付加した。学生協力者5名でも、この「自主性」の想起はなかったため、合計11名の協力者全員に対して、この項目を付加したことになる。

「学力低下」については、重要度順の並び替えで順位を上げた例は4名で見られた。また、この「学力低下」と他の項目との統合は、デンドログラムの左側寄りで見られる例が多く、類似する項目同士の関係が各教員に実感されていたことが推察できる。

一方「自主性」の重要度は、並び替えで明確な上昇を示したのは2例のみであった。他の項目との統合過程も、「学力低下」に比べると右側寄りの例が多く、他の項目との類似度評定はあまり高くないことが示された。こうした傾向は、学生協力者にも見られたものであり、学生と教員との両者で共に「学力低下」の方が、「ゆとり教育」のイメージを構成する要素としてより強く影響を及ぼしたと考えられる。ここで

	学力低下			自主性			全数
	想起	重要	評定	想起	重要	評定	
学生1	3	4	×	5	2	○	5
学生2(B)	4	8	△	8	5	△	8
学生3	8	9	×	9	8	○	9
学生4	8	4	×	9	3	○	9
学生5(A)	7	3	×	8	8	△	8
教員1	5	6	×	7	7	○	7
教員2	8	5	○	9	3	○	9
教員3(C)	10	6	△	14	8	○	14
教員4(E)	2	1	×	5	4	○	5
教員5	6	6	×	7	7	△	7
教員6(D)	12	3	×	13	14	○	14

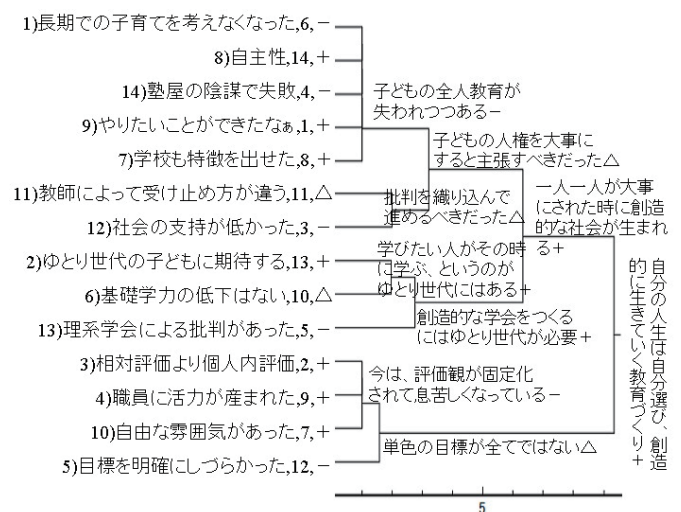


図3 C教員のデンドログラム

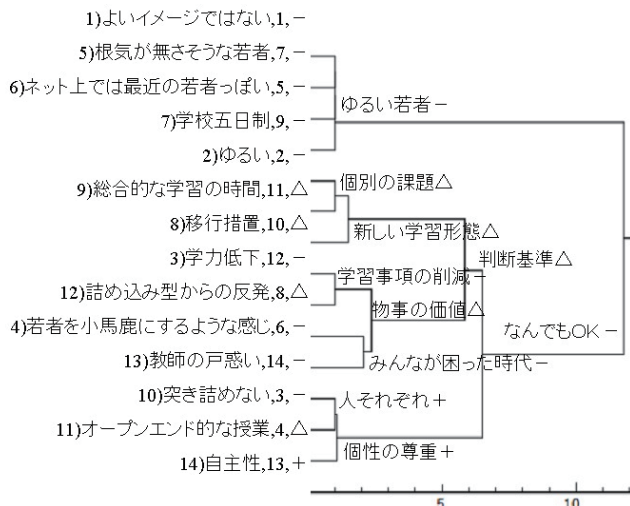


図4 D教員のデンドログラム

は逆の例として、「自主性」の項目が他の項目と強く類似の関係をもち、その統合も左側寄りに見られたC教諭のデンドログラムを図3に示した。

想起項目のプラス評価の数が7と、全協力者中で最も多くなっている。割合で見ると、項目数の合計が14なので、プラス評価は5割となる。プラス評価が5割以上となった調査協力者は他に2名いるが、そのいずれもが教員の協力者であった。学生によるプラス評価では、最多の場合でも4割であり、5割以上になる例はなかった。学生で5割以上の評価となったのは、マイナス評価で2名、△の評価で1名であった。教員でのマイナス評価5割以上の例は2名だけで見られた。ただし、学生はマイナス評価を多くし、教員はプラス評価を多くするという単純化できる結果ではない。

C教諭のデンドログラムは、上部に10項目で構成される大きなクラスターと、下部の4項目のクラスターに分かれている。上部のまとまりは、一部に個人の感想もまじっているが、多くは一般的にも既知の事実で外部からも了解可能な内容で構成されている。それに対して下部のクラスターは、教師としての実践から導き出された独自の感想による統合と見なし得る。しかし、ここで見られるような、教師としての自分を積極的に「ゆとり教育」と関わらせて論じる姿勢は、教員協力者全体の中では、けっして多く見られるものではなかった。

C教諭の感想には、「昔からあった理想を実現するきっかけとして、ゆとり教育はあったと思う」という一言があった。この発言には、過去の教育と比較する視点に立っていることが示されている。当人の教職経験年数は30年にも及ぶので、いわゆる「ゆとり教育」以前の実態も比較対象になっていたと考え

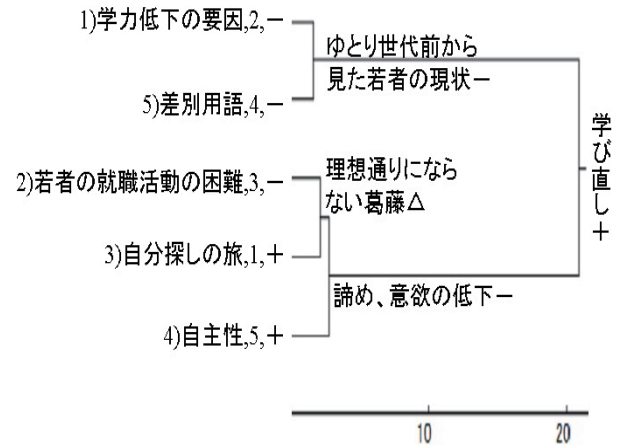


図5 E教員のデンドログラム

てよい。そうした個人的な実体験に基づいて、C教諭の「ゆとり教育」に対する好意的な印象が構成されていると考えなければならない。

一方、教職経験年数が10年程度の30代の教員では、こうした比較対照できる過去の実践をもたずに「ゆとり教育」に携わったことになる。そうした例として、D教諭のデンドログラムを図4に示した。想起項目数は、付加された項目も含め14で、C教諭と同数である。そのうち、プラス評価の項目は1、マイナス評価の項目は9、△の評価は4であった。これは、C教諭とプラスとマイナスが逆転した配分になっている。

クラスターの統合過程は、類似度の差が小さいことで、並立して小さなまとまりが多くできている。上部には、他の項目との距離が大きく離れている4項目で構成されるクラスターが位置している。このクラスターへのD教諭による命名は、「ゆるい若者」であり、その評価はマイナスになっている。このクラスターと、D教諭自身がどのような関わりをもつのかについては、この図からは読み取りが難しい。インタビュー後の感想では、「最近のインターネット(BBS 電子掲示板)の影響を受けているので悪いイメージが多くなった」のかもしれない、と述べていた。自分自身が直接関わりをもった若者に対する思いではないことが理解できる。

別な感想として、「ゆとり以前を教えた事がないから」とも語っていた。では、教師としての「ゆとり教育」と関わった自分自身は、どこに表れているのだろうか。大きなかたまりである下部のクラスターの最も下の位置に、他の下位クラスターとやや離れた距離を保って3項目がまとまっている。「人それぞれ」、「個性の尊重」と命名されたクラスターである。ここには自主性の項目が含まれているが、重要度順

は高くない。項目には専門用語も含まれるが、教師であれば誰もが知っている用語なので、個人としての特別な思いが強く表れているとは見なしにくい。

D教諭のデンドログラムは、全体的には「ゆとり教育」にたいする否定的な思いが表れていると読み取れるが、教師としての自分自身が関わる強い思いの部分があるとは認めがたい。同じような例に、全体としては「ゆとり教育」への批判が基調にありながら、部分には、教師としての個人の思いを関わらせて「ゆとり教育」への複雑な思いを表している例もある。

女性教諭の場合(図は省略)は、教職経験年数は30年以上に及ぶので過去との対比も行われていた。想起された項目の中には、「私自身としてはよく分からなかった」、「家庭科と総合学習との違い」というように、教師として実際に味わった困惑などが、具体的な文言となって表れていた。クラスター統合の過程で、「忙しただけ増えた」との命名があったが、その評価はプラスになっていた。さらに、最終的な統合での命名は、「中庸(真ん中)」とされ、その評価はプラスであった。マイナスに評価されそうな内容であったにもかかわらず、実際の評価でプラスとされたのには、当人の「ゆとり教育」との関わり方の独自性が表れたものと考えられた。

管理職の立場から「ゆとり教育」の印象が語られたE教員のデンドログラムを図5に示した。「学力低下」についての項目は、2番目の早さで想起されていた。付加された項目である「自主性」は、重要度順の並び替えでの大きな順位上昇はなかった。統合過程を見ても、「自主性」は最後に統合されており、他の項目との類似度は低く関係が薄かった。教える側に立つ個人としての「ゆとり教育」への思いは、少ない項目数の中から見いだすことは難しかった。

デンドログラムを見ながら最後に語られた感想の中に、「ゆとり世代の良さについて、その世代の人が、認識してその良さを生かしてほしい」とあった。さらに、「(最終統合の命名である)『学び直し』とは、例えば生涯学習を実践することで実現できるのではないか」とも語った。若者たちへの、今後に期待する言葉が添えられており励ましの思いが語られていた。しかし、それが教師として「ゆとり教育」と関わった者として、その責任を自覚した言葉であるのかどうかについては、必ずしも明示的ではない。

回避度と呼ばれる指標は、内藤(1997)において、「情緒が喚起して苦痛が生じるのを避ける、『解離』や『自己疎隔感』の強さの指標」とされている数値のことである。算出は、△の項目数を想起された合計項目

数で除し、小数の値で表される。この値を用いて、学生と教師でその平均値をt検定すると、5%水準で有意となった($t(8)=3.117, p<.05$)。学生は△の評価を多くする傾向をもち、『解離』や『自己疎隔感』を感じている可能性があることが示された。

4 考 察

想起された項目と、その統合を図示するデンドログラムの中に表れた内容で、学生らしい反応と教師らしい反応の違いを包括的に述べられるような結果は導き出せなかった。むしろ表面的には、両者の反応には、共通する要素がいくつか見られた。具体的な例では、想起項目で共通していたのは、「差別用語・総合学習・学校五日制(週休二日制)・授業時間内容の削減」などであった。これらは、一般的に社会でよく「ゆとり教育」と共に語られる言葉といえるので、そうした言葉で「ゆとり教育」のイメージが形づくられるのは当然のことであろう。

ただし、その言葉に対する評価が、プラスになるのかマイナスになるのかは、個人によって大きく異なっていた。例えば「学力低下」という項目でさえも、マイナスだけではなく、どちらにも決めかねる△やプラスの評価が見られた。しかし、その評価の仕方の違いに、学生らしい反応や教師らしい反応の差を見いだすことはできなかった。個人間の差が、とても大きいことが示された。

そこで、調査協力者の全員に付加することになった「自主性」に注目すると、その言葉を自分が想起した他の項目とどれだけ関連づけられたかに、学生と教師の差が見いだせた。学生では、「自主性」の言葉が付け加えられた後に重要度順の並び替えをすると、順位が上昇する傾向が見られ、統合過程でも他項目との関連が高いので早い段階で統合される例が多かった。それに対して教師では、並び替えによる順位上昇は少なく、統合過程での他項目との関連も高くなかった。

この重要度順位については、内藤(1997)で「重要度順位の高いものは、問題事象や臨床的内容にかかわるときには『主訴』に該当する。この指標によっていかなる内容をとりわけ重要と感じているかが明らかとなる」と述べられていて、その数値のもつ重要性が強調されている。

この「自主性」について、学生が自然に自分のイメージ形成に取り込めたのには、そこにいくらかでも下地となる「ゆとり教育」と自主性の間にある関連性

の自覚があったからであろう。自分が受けた教育の中で、自主的に取り組むことの重要性なりが（実際にそれが身についかどうかは別にしても）、意識化されていた、ということである。ところが教師には、そのような「自主性」と他項目との関連は積極的な形では見られなかった。これは、自主的に取り組むことの大切さを「ゆとり教育」の中で子どもたちに指導していたはずの教師が、自分自身としてはあまりその重要性に自覚的でなかった可能性を示唆しているように見える。この点については、さらなる検討が必要となるであろう。

他に認め得る、学生と教師の反応の違いについては、「ゆとり教育」に対する評定で、単純なプラスやマイナスの多寡の違いで両者の差を記述することはできなかった。それは、個人間の差が大きく現れて、学生と教師の間の差が背景に押しやられてしまうからと考えられた。しかし、プラス（○）、マイナス（×）、どちらとも決めかねる（△）の三つの軸をもちいて図示することで、学生と教師の間の差を表現できる可能性がある。それを示したのが図6の3次元配置である。

縦軸が、どちらとも決めかねる(△)の尺度になるように表されている。教師の点は二重丸で表現されているが、そのどれもが△の評定が少ない下の位置にプロットされている。対する学生の点は、一つを除いて、多くが△評定が多くなされた上の位置にプロットされている(1点だけ下にあるのは、評定を全て○か×に限定し、△の回答を意図的に避けた学生の点である。類似度評定でも同様に、1か7かの極端な評定になることが多かった。前述の回避度の計算では、はずれ値として除外してある)。

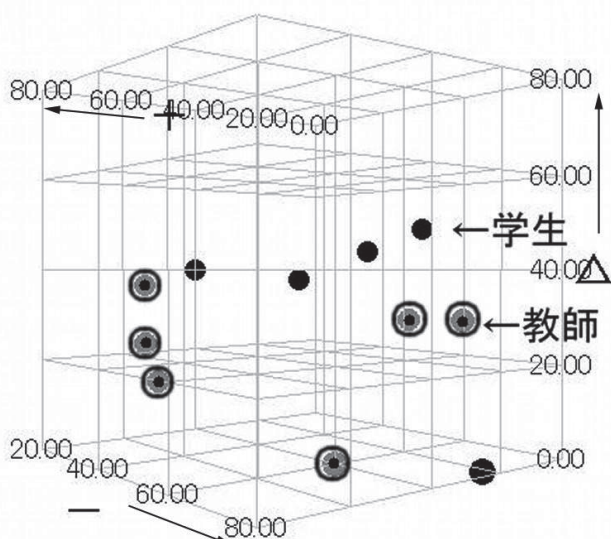


図6 +△-の3次元配置

この図と結果で示した回避度の有意差（学生＞教師）から、学生は自分の印象を表現する際に自信をもった評定ができていないと、読み取ることができる。逆に教師は、「ゆとり教育」についての印象がプラスかマイナスのどちらかに各人で偏りはするものの、個々の項目評定に際してはあまり迷っていないと読み取れる。この違いの背景には、学生の想起にあった、「ゆとり教育とそれ以外の差が分からない」や「違いが分からない」という感覚、さらに感想の言葉にあった、「ゆとり教育を受けていない人の結果を見てみたい」というような、対比できる基準をもたないことへの不確かな感覚が影響を及ぼしていると考えられる。

今回の調査では、協力者全員に「自主性」の項目を付加した。これは事前のアンケート結果からの抽出であったが、その際に参照した小学校の学習指導要領⁽¹⁴⁾には、関連する記述として「各教科等の指導に当たっては、体験的な学習や問題解決的な学習を重視するとともに、児童の興味・関心を生かし、自主的、自発的な学習が促されるよう工夫すること」が見られた。同様の記述は、中学校の総則にも見られた。学生が、「ゆとり教育」から連想する言葉として、「自主性（自主的、自発的な学習）」を想起したことには、根拠があったといえる。

しかし、「自主性」に対する学生たちの評定は、一様なものではなく、プラスやマイナス、どちらとも決めかねる△に分散していた。「自主性」に対するこのような多義的な評価については、「教育課程部会におけるこれまでの審議のまとめ(2007)」⁽¹⁵⁾でも言及されていて、「子どもの自主性を尊重する余り、教師が指導を躊躇する状況があったのではないかと課題視する意見も述べられていた。学生たちが見せた評定のばらつきには、公的な見解とも共通する理由があったと考えてよい。

加えて述べるなら、この「自主性」について、「ゆとり教育」世代には、肯定的否定的の別はあっても一定の自覚はあったのであるが、それを指導した教師にはその自覚が希薄であった。このことは、教師自身が「自主性」を発揮してその教育に携わったかどうかの結果が表れたといえる。「ゆとり教育」を「自主性」の基準でふり返えるならば、教師の側に未達成な課題が残された、と考えなければならないことになる。

もう一つの付加項目であった「学力低下」については、学生と教師の間に大きな差は認められず、両者ともにマイナスのイメージが優勢になっていた。また「学力低下」の項目は、重要度順の並び替えでの上

昇があまり見られなかった点でも、学生と教師間で共通の傾向を示した。これは、「自主性」の項目が学生では順位の上昇を見せることがあったので、相違点として着目する必要があるのかもしれない。

松浦(2012)で付加されたのは、「自分の過去」「自分の現在」「自分の未来」の項目であった。これらの項目がもつ意味は、個人によって内容が違ふことが前提とされ、一個人の経時的な変容の記録と外在化に主要な意図があった。一方、今回の調査で付加した「学力低下」と「自主性」には、一般的な意味で共有される内容をもつと仮定できたのであるが、実際には各項目評定などに差が見られた。こうした差を引き出した点に、PAC 分析の有効性を認めることができるはずである。

また、最終の統合過程に注目して述べられた、「最後のまとめは、最初から意識していたものではなかったかもしれないが、思い出してみると、ゆとり教育の時は、そういう理想をもちやすい現場環境だった」(C教諭)、「学び直し、は最初のときに思っていなかった。でも、生涯学習という言葉、と一緒に語られるゆとり教育だったので、関係はある」(E教諭)などの感想から、PAC 分析が当初は無自覚だった意識や認識を引き出したことが伺える。さらに、「漠然と思っていたものが、形になり言葉になり、自分ってこうやって考えていたのか、と気づかされた」という PAC 分析全体に対する感想もあった。これには、井上(1998)⁽¹⁶⁾で示された、自己理解促進機能の効果が表現されていると考えられる。

5 課題と展望

調査についてまとめると、いわゆる「ゆとり教育」の受け止め方の違いについて、学生と教師間で比較検討することが目的であった。学生のもつ印象は、断定的ではなく逡巡を見せながらも最終的なまとまりとしてはプラスのイメージに結びつく例が多かった。しかし、部分的な要素では、社会一般から自分たちに向けられた「学力低下」などの批判的な評価に強く影響を受けていた。対する教師には、その教師自身がどれだけ「自主的」に、「ゆとり教育」に携わったかの程度で、印象に違いが見られた。より自覚的だった教師は、肯定的受容の傾向を示し、そうでない教師は否定的受容の傾向を示した。

学生には、「ゆとり教育」ではない教育を受けた経験がないことから、印象のもち方には自信のなさが表れていた。教師の側にも、「ゆとり教育」以前の教

授体験があるかどうかの違いが、その印象形成に影響を及ぼした例が見られた。「自主性」は、「ゆとり教育」を構成する主要素であったが、学生には一定の自覚が見られたが、教師にはあまり自覚が見られなかった。「ゆとり教育」を受けたことの評価は、例えばこの「自主性」獲得の程度で判断されるべきであるのに、実際にはそうでなく、「学力低下」の視点から評価されることがほとんどである。この矛盾は、これからの教育を考えると、考慮すべき点である。

「ゆとり教育」には、並行実施の生涯教育との密接な結び付きが折り込まれていた。生涯を通して学び続けていこうとする思いが、この世代には期待されていることになる。しかし、この検討は、現在の学生たちが今後の人生で、それぞれの段階で確かめることでしか為し得ない。教育の成果を検討するということは、本来このような長い見通しをもって初めて為し得るものでもあろう。このようなパースペクティブをもって教育の課題を追究していく息の長い調査検討が求められている。

さらに必要な視点として考えたいのは、教師に「自主性」を期待するとは、どのようなことか、との問いである。仮に「ゆとり教育」を失敗と位置づけた場合には、その教育施策の実施に不熱心な教師が、失敗の程度を軽く収めたことになる。そのような教師が、「自主性」を発揮した教師となるのであろうか。想起項目の中に『ゆとり』はしないでちゃんと教えたよ」との表現をした教師が居た。かといって、当人が描く教育の理想の姿が、それ以前の詰め込み教育だったという意味ではないと思われる。自分たちの社会が描く教師像を、教育する側からだけでなく、教育を受ける側や受けさせる側から、これからはもっと積極的に提案していくべきなのではなかろうか。教師に期待する資質の一つとしての「自主性」が、より一層重要な検討課題になるべきである。

今回の調査では、PAC 分析に項目を付加する手続きが用いられた。この項目付加による影響に関する検討のために、今後は刺激文の中に目標とする語句を折り込む手続きなどとの比較が構想され得る。これは、内藤(2008)⁽⁹⁾で連想刺激について例示されていた「学校に行くことからどんなイメージが浮かんできますか?」と「学校に行くこと、保健室。これらからどんなイメージが浮かんできますか」との相違をふまえて連想刺激を作成することに対応している。より焦点化した手続きによって、PAC 分析の機能を十分に発揮させた調査を考えていきたい。

謝 辞

本論文は、教育心理学会第55回総会のポスター発表、「ゆとり教育」の受け止め方のPAC分析、に大幅な加筆・修正したものです。

煩瑣な手続きを伴う調査に、こころよく応じてくれた受講学生諸君、また教師の方々に、その積極的な協力に対して心から感謝いたします。

注と引用

- (1) 新学習指導要領(本文、解説、資料等)(2001)の中で、国民向けの説明と、教育関係者への要請が述べられている。
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/index.htm (2013.11.10 現在)
- (2) 柘植智幸 (2012). 「ゆとり世代」の特徴と育て方 教育と医学, 60 巻 9 号, 62-67.
- (3) 国立国会図書館のデータベースで、「ゆとり教育、社員」をキーワードにして検索すると、例示の記事がヒットする。掲載誌は順に、賃金事情 (2641) 2012-11-20 p. 6-9、食品商業 / 商業界 [編] 38(3) (通号 514) 2009-03 p. 48~51、Aera 20(19) (通号 1047) 2007-04-16 p. 14~17 となっている。
国立国会図書館サーチ
<http://iss.ndl.go.jp/> (2013.11.10 現在)
- (4) 佐藤年明 (2012). いわゆる「ゆとり教育」に対する学生の認識の検討 三重大学教育学部研究紀要, 自然科学・人文科学・社会科学・教育科学, 63, 239-254.
- (5) 教育課程審議会 (1998). 幼稚園、小学校、中学校、高等学校、盲学校、聾学校及び養護学校の教育課程の基準の改善について(答申)には、「完全学校週5日制の導入を契機に、教育は学校教育のみで完結するのではなく、学校教育では生涯学習の基礎となる力を育成することが重要であるとの考え方」に立つことの必要性が説かれている。
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/old_chukyo/old_katei1998_index/toushin/1310294.htm
(2013.11.10 現在)
- (6) ベネッセ教育研究開発センター (2007). 第4回学習指導基本調査 第5章 総合的な学習の時間 第2節 標準時間についての意識
http://benesse.jp/berd/center/open/report/shidou_kihon/hon/hon_5_2_1.html (2013.11.10 現在)
- (7) 内藤哲雄 (1993). 個人別態度構造の分析について 人文科学論集, 信州大学人文学部, 27, 43-69

- (8) 内藤哲雄 (2011). 中国と中国人の人間関係のスキーマの獲得と発達:PAC 分析による構造と形成要因の検討 人文科学論集, 信州大学人文学部, 45, 55-71
- (9) 内藤哲雄 (2008). PAC 分析を効果的に利用するために PAC 分析研究・実践集 1, ナカニシヤ出版
- (10) 内藤哲雄 (1997). PAC 分析実施法入門「個」を科学する新技法への招待, ナカニシヤ出版
- (11) 今野博信・池島徳大 (2009). 個人別態度構造分析で比べる教師の学校イメージ 奈良教育大学教育実践総合センター研究紀要, Vol. 18, 55-62.
PAC helper のダウンロードサイトのURLは、
<http://www.naravan.net/ec/no2.htm> (2013.11.10 現在)
- (12) クラスター分析 (Cluster97.xla) Ver. 3.7 については、作成者の早狩進氏のサイトに詳しい説明がある。
(2013.11.10 現在)
<http://www.jomon.ne.jp/~hayakari/index.html>
- (13) 松浦美晴 (2012). 時間的展望の探索におけるPAC分析の有用性の検討 山陽論叢 山陽学園大学 19, 16-27.
- (14) 小学校学習指導要領 (1998). 第1章総則 第1教育課程編成の一般方針 1
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/cs/1320013.htm (2013.11.10 現在)
- (15) 中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会 (2007). 教育課程部会におけるこれまでの審議のまとめ 4. 課題の背景・原因 (2) 学習指導要領の理念を実現するための具体的な手立て
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/siryo/07102505/003/005.htm (2013.11.10 現在)
- (16) 井上孝代 (1998). カウンセリングにおける PAC(個人別態度構造)分析の効果 心理學研究 69(4), 295-303.

研 究 報 告

擬似夜明け療法のための効果的照明方法の検討と装置開発

湯浅 友典^{*1}, 三浦 淳^{*2}, 千葉 武雄^{*3}, 佐々木 春喜^{*2}, 相津 佳永^{*1}

Development of light therapy apparatus using dawn simulation

Tomonori YUASA^{*1}, Jun MIURA^{*2}, Takeo CHIBA^{*3}, Haruki SASAKI^{*2}, Yoshihisa AIZU^{*1}

(原稿受付日 平成 25 年 6 月 28 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

Patients of sleep disorder and depression are increasing every year, and it has become a serious social problem. Although medication is effective in these illnesses, there are side effects. Therefore, the light therapy without critical side effects is effective. However, the apparatus which can treat appropriately is not in a market. Then we developed the new light therapy apparatus using dawn simulation. You can obtain the stable illuminance irrespective of direction and position of the face under sleep by using this apparatus. Clinical efficacy evaluation of this apparatus is described elsewhere in this proceeding.

Keywords : Dawn simulation, Light therapy apparatus

1 はじめに

高ストレス社会と呼ばれる現代, 睡眠障害やうつ病の罹患者の増加が社会問題となっている. これらの治療には睡眠導入剤や抗うつ剤などを用いた薬物療法が一般的である. しかし, 罹患者が精神的に不安定な場合, 薬物の過剰摂取などにより抑制が外れ, 自殺衝動を起こすといった副作用も更なる問題となっている.

そこで重篤な副作用がほとんどみられない, 光を用いた療法が注目されている. 光を用いた療法には大きく分けて高照度光療法⁽¹⁾と擬似夜明け光療法⁽²⁾の 2 種類があり, この光療法の原理を用いた装置がいくつか国内外で市販されている. しかし, 現在市販されている小型の擬似夜明け光治療装置は, パネルやスタンドライトの様な形状の物が多く, 照明の照射方向が一方向からに限られるため, 利用者が使用中に照明の方向に顔を向け続けなければ, 光治療に必要な照度を安定して得ることができないなどの問題点がある.

本研究では装置の設置が容易で, しかも利用者の睡眠中の顔の向きや位置に依存せず, 常に安定した照度が利用者の目元に照射される照明方法の検討と, 装置の開発を行った.

2 擬似夜明け光療法の原理

擬似夜明け光療法は, 起床時刻のおよそ 3 時間前から夜明けの太陽光のように, 照度が徐々に明るくなる状態を模擬して白色の照明光を利用者の目元に照射する光療法である. Fig.1 に Terman and Terman の報告⁽³⁾に従い, 北緯 45 度地域のある年の 5 月 5 日の夜明けの照度の測定例を示す. 0 ルクスから 250 ルクスまで, およそ 3 時間かけて徐々に照度が増加していることがわかる. 一方の高照度光療法は, 照度 10,000 ルクスの白色光を 30 分間利用者の瞳孔に照射し続ける. 擬似夜明け光療法で用いる照度は最大でも 250 ルクスまでで, しかも就寝中なので閉じた瞼に照射するなど高照度光療法と比べてかなり低照度の光を用いるが, 同等の効果が得られると報告がなされている⁽³⁾.

Table 1 に生活環境における照度の例を示す. 表からも 250 ルクスが低い照度であることがわかる.

*1 室蘭工業大学 もの創造系領域

*2 室蘭工業大学 ひと文化系領域

*3 株式会社ブラウシップ

両光療法の目的は、睡眠状態から覚醒状態への意識レベルの切り替えの促進で、昼は覚醒度が高く活動的な状態、夜は覚醒度が低く深い睡眠状態にスムーズに移行できる様に生体リズムを改善することによって、睡眠障害やうつ病などの疾患の改善を図るものである。よって、睡眠障害の一つである時差ボケなどの改善にも光療法は有効である。

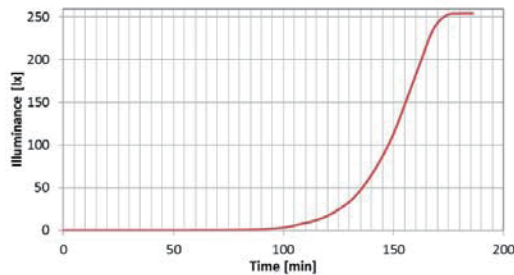


Fig.1 Illuminance transition of dawn light.

Table 1 Relation between condition and illuminance.

Condition	Illuminance (lux)
Fine weather in summer	100,000
Shaded area of fine weather	10,000
Cloudy weather	5,000
Shop	1,000 ~ 2,000
Office	300 ~ 800

3 照度測定用マネキンヘッドの作成

利用者の眼球部に照射される光の照度を計測するため、Fig.2 に示す照度測定用マネキンヘッドを作成した。平均的な人の頭の大きさを模倣したマネキンヘッドの目の部分をカットし、左右の眼球の位置に、2 台の照度計（三和電機計器株式会社製 LX2）の受光部が配置されるように取り付けた。受光部の間隔は、AIST 人体寸法データベース⁽⁴⁾の瞳孔間隔の平均値を参考に、60 mm とした。また、睡眠時の状態を再現するため、横を向いて枕の上に頭をのせた時の高さを 70 mm に設定し、その状態を再現できるようにマネキンヘッドを回転台に取り付けた。そしてマネキンヘッドの首の中心部に回転軸用のボルトを差し込み、底部に回転軸と中心位置を合わせて分度器を取り付けた。これにより任意の角度に顔を向けた際の目元の照度を測定することが可能となる。以降、照明装置開発時における照度の測定には、本マネキンヘッドを用いて行った。

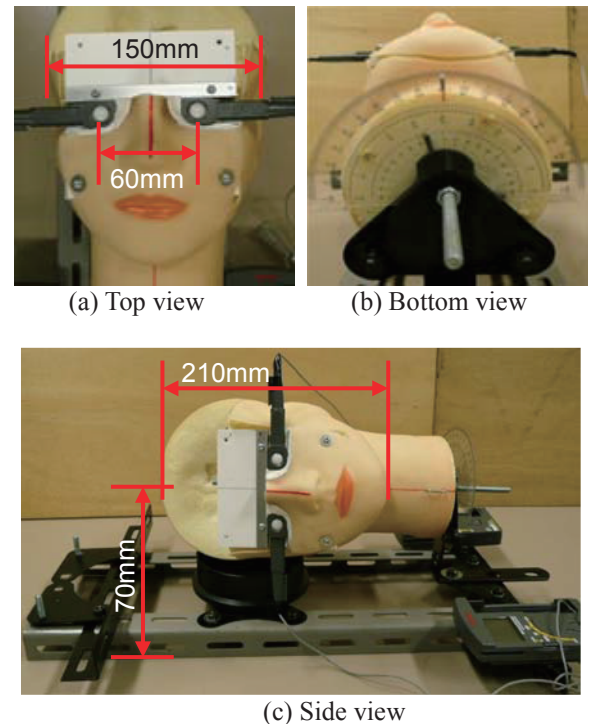


Fig.2 Mannequin head.

4 市販の擬似夜明け光治療装置

現在市販されている擬似夜明け光治療装置の例を Fig.3 に示す。(a)は PALMWIT 社製のドクターライト、(b)はヘリオメディコ・ジャパン社製の LED モーニングライトである。以下装置 A と装置 B と呼称する。両装置共に光源には高輝度白色 LED が用いられており、発熱量を抑えつつ小型でも十分な照度が得られるように設計されている。

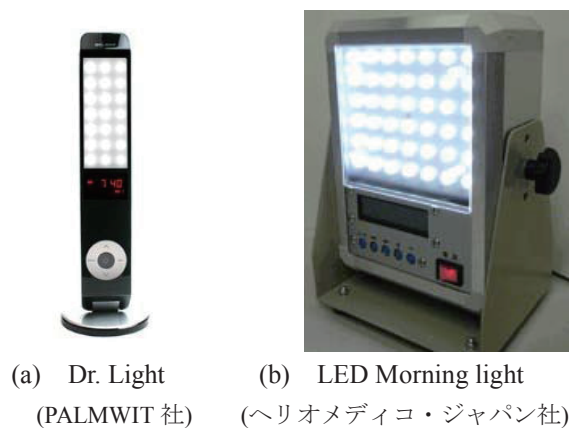


Fig.3 Commercially apparatuses.

両装置を使用する場合、就寝中に適切な照度が得られる位置に装置をそれぞれ設置する。基本的

には顔の横に設置して、横から照明するが、装置 B は壁に取り付けて上から照明することも可能となっている。装置 A は設定起床時刻の 45 分前から照度が 0 ルクスから徐々に上昇し、設定時刻には照度が最大の 250 ルクスとなる。Fig.4 は装置 A を顔の横 500 mm の位置に置き、顔を装置の方に向けた場合を基準角度 0° とし、真上に向けた場合を 90° 、装置と反対方向に向けた場合を 180° と設定した時のそれぞれの向きにおける時間経過と照度の関係を測定した結果である。グラフより、照明の照度が 250 ルクスとかなり低いため、照明の方向に顔を向けていなければ、目元に照射される光量はほぼ 0 ルクスで、ほとんど変化しないことがわかる。

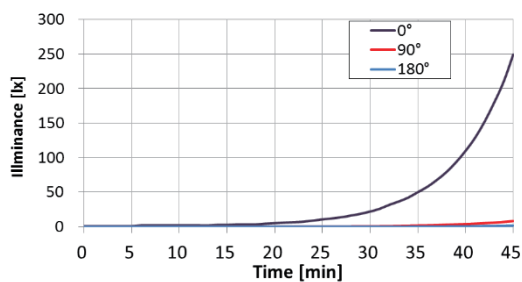


Fig.4 Relation between face direction and illuminance.

5 今回製作した擬似夜明け光治療装置

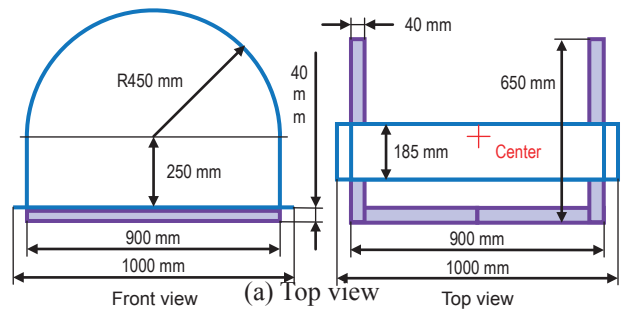
5.1 装置の構造

市販の装置では前節で述べたように、顔の向きによっては光治療に必要な照射光量が得られないという問題点を改善するため、利用者の顔の向きに依存することなく、設定した照度が利用者の目元で得られるように、Fig.5(a)に示す様な照明部がアーチ型の形状をした装置を製作した。装置下部に取り付けたコの字型の可動式アングルを、マットレスの上またはベッドのフレームに固定し、アーチ状照明部の底面に敷き布団をかぶせるだけでFig.5(b)に示す様に簡単に装置を設置することが可能となっている。

アーチ状照明部の底辺の長さは、シングルサイズのベッドの大きさを考慮し 900 mm とした。また、底部からアーチの最高点までの高さは、AIST 人体寸法データベースの座高の平均値 900 mm から、アーチ状照明部の真下に頭を置いて仰向けになった人が、腰を起点に起き上がる際、頭部がアーチに衝突する高さを計算すると 570mm となるので、余裕を持って 700 mm とした。さらにアーチ部の材質

には、利用者が誤って衝突しても大きなダメージを受けない安全対策と、運搬時の軽量化を図るため FRP を用いた。アーチ部の幅は LED の取り付けを考慮して 185 mm とした。

アーチ部には頭が上下方向にずれても適切な照度が得られるよう、Fig.6 に示す様に幅 10 mm のテープ状の LED を 150 mm の間隔をあけて 2 本取り付けた。テープには照度 2,350 mcd の白色 LED が 50 mm 間隔に 3 個配置されている。アーチ部には長さ 1,900 mm の LED テープを 2 本取り付けたので、およそ 230 個の LED が配置されていることになる。



(b) Example of use

Fig.5 New light therapy apparatus.

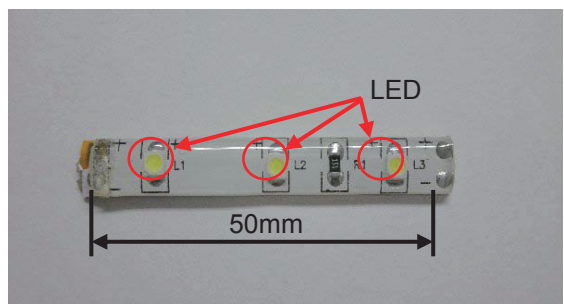


Fig.6 LED tape.

また、アーチの左右と上下では光源と目元までの距離が異なるため、Fig.7 に示す様に 3 種類の拡散板をアーチ部に取り付けることで角度による照度差を調節した。PS-1 は白色度の高い拡散板で、照度が高くなりすぎる位置の照度を押さえるために用いた。PS-10 は透明度の高い拡散板で、左右の

立ち上がりの位置で、照度が不足することを防ぐために用いた。HP-1 は乳白色の拡散板で、アーチ部からの光量が均一になるように用いた。

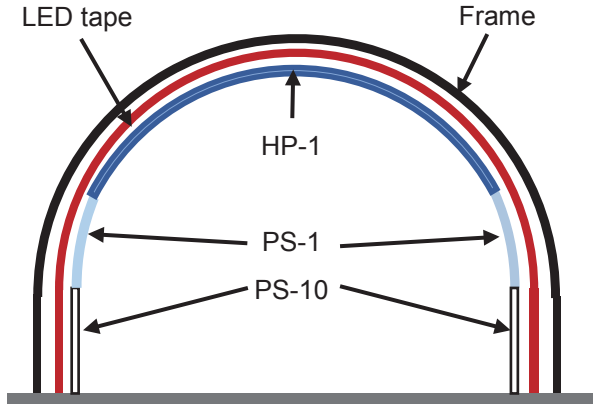


Fig.7 Position of diffusion plates.

本装置を用いた場合の、顔の向きと照度の関係を Fig.8 に示す。顔の位置はアーチ部の中央の真下に、鼻根（目と目の間）の位置が来るようにする。真上を向いた場合を 90° 、左右を向いた場合をそれぞれ 0° と 180° とする。測定照度の値は左右の目元の照度の平均値である。グラフより真上から左右に $\pm 50^\circ$ 向いた場合の照度が若干高くなっているが、全方向における照度の平均値は 270 ルクスで、擬似夜明け光療法に必要な最大照度である 250 ルクスは確保できており、Fig.4 に示した市販の装置と比較しても格段に照明状態が改善されていることが分かる。

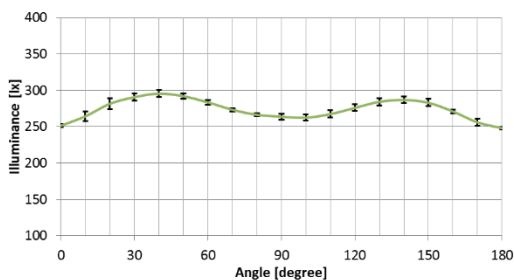
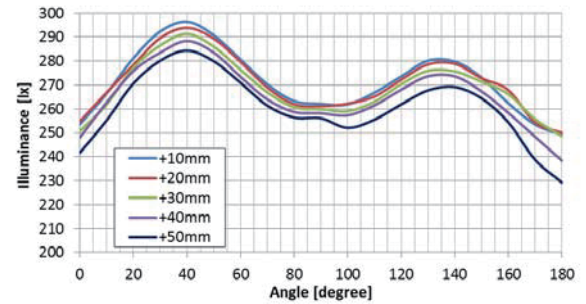


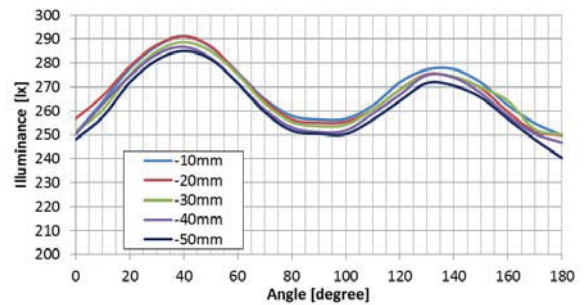
Fig.8 Relation between face direction and illuminance.

次に鼻根の位置を照明用アーチの中央真下の位置から、上下に -50 mm から 50 mm まで 10 mm 間隔で移動させた場合の、顔の向きと照度の関係について計測した結果を Fig.9 に示す。測定照度の値は左右の目元の照度の平均値である。グラフから睡眠中に頭の位置が上下に ± 50 mm 程度ずれた場合でも、ほぼ全方向で 250 ルクスの照度が得られ

ることが分かる。



(a) Case of above direction



(b) Case of below direction

Fig.9 Relation between face direction and illuminance.

5.2 照度制御回路と制御プログラム

擬似夜明け光療法に必要な最大照度である 250 ルクスを全方位にて確保出来ることが確認できたので、次に擬似夜明けの照度変化を実現する照度制御回路と制御プログラムの作成を行った。LED の照度調整は、白熱電球のように電圧調整ではなく、照射時間変調となるので PWM 制御が必要となる。そこで今回は gbt 社製の調光ユニットを利用した。このユニットには照度上昇用と下降用のスイッチがそれぞれ付いており、LED と電源の間に接続することで、33 ステップの調光が可能となっている。次に起床時間の 3 時間前から徐々に照度を上昇させるためには、タイマー機能を装置に搭載する必要がある。しかし、現時点では装置を小型化する必要がないことと、照度の上昇パターンを任意に設定することが容易なので、今回はノート PC を用いて制御することとした。そこで、調光ユニットのスイッチ部を取り外し、オペアンプを用いて電氣的にスイッチング出来るように回路を作成した。そして、PC からのスイッチング制御信号の送信にはエルモス社製の USB I/O ボード MAI-2088 を用いた。各装置の構成図を Fig.10 に示す。

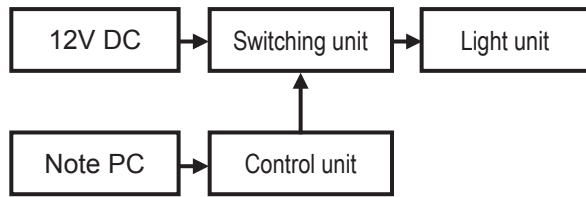


Fig.10 Circuit diagram.

次に擬似夜明けの照度変化を実現するため、調光ユニットのステップ数と照度の関係を調べた。測定結果を Fig.11 に示す。グラフからステップ数と照度には線形の関係があり、1 ステップで約 8 ルクス上昇することが分かった。調光ステップに対応する照度値を、Fig.1 に示す時間経過と夜明けの照度変化に対応させた結果が Fig.12 である。ほぼ夜明けの照度変化を再現できていることが分かる。

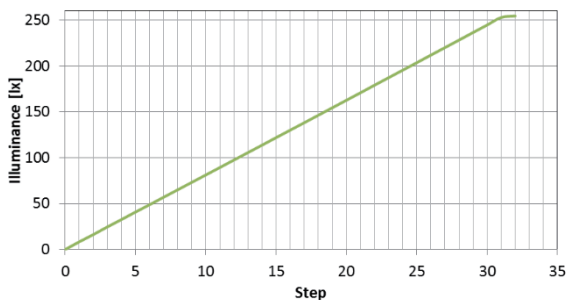


Fig.11 Relation between step and illuminance.

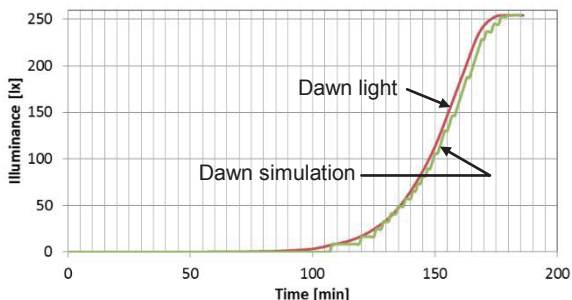


Fig.12 Dawn simulation model.

最後に設定起床時刻から 33 ステップのスイッチング時刻を算出し、所定時刻に USB I/O ボードを通して調光ユニットを制御するプログラムを Visual C++ を用いて作成した。プログラムの動作画面を Fig.13 に示す。例えば起床時刻に 04:00 と入力して設定ボタンを押すと、各ステップのスイッチング時刻が 33 ステップ分表示される。次に利用者は睡眠前に開始/停止ボタンを押すことで、タイマーが作動し、現在時刻が表示され、光治療が開始される。スイッチングのタイミングは任意に設定

することが可能なので、季節に合わせた夜明けの照度変化をシミュレートさせることも可能である。



Fig.13 Illuminance control program.

6 おわりに

本研究では擬似夜明け光治療のために効果的な照明の検討を行った。その結果、利用者の就寝中の顔の向きや位置に依存することなく、光治療に必要な照度を利用者の目元部分に照射することが可能な装置を開発することができた。

本装置を用いた光治療効果の検証実験については、別報にて報告する。

7 謝辞

本研究は、平成 23 年度室蘭工業大学地域共同研究開発センター「プレ共同研究」助成金および SVBL の学長裁量経費による地域医療に関する重点研究支援を受けて遂行した。

文献

- (1) P. Badia, B. Myers, M. Boecker, J. Culpepper, Bright Light Effects on Body Temperature, Alertness, EEG and Behavior, *Physiology & Behavior*, Vol. 50, pp.583-588, 1991.
- (2) D. Avery, M. A. Bolte, M. Millet, Bright down simulation compared with bright morning light in the treatment of winter depression, *Acta Psychiatr Scand*, 85, pp.430-434, 1992.
- (3) Michael Terman, Juana Su Terman : Controlled Trial Naturalistic Dawn Simulation and Negative Air Ionization for Seasonal Affective Disorder, *Am J Psychiatry*, 163, pp.2126-2133, 2006.
- (4) 設計のための人体寸法データ集, 生命工学工業技術研究所報告, 2 巻 1 号, 1994.

擬似夜明け療法による生体リズム位相調節の試み

三浦 淳^{*1}, 湯浅 友典^{*2}, 千葉 武雄^{*3}, 相津 佳永^{*2}, 佐々木 春喜^{*1}

Phase Shift of Biological Rhythm by Dawn Simulation A Preliminary Report

Jun MIURA^{*1}, Tomonori YUASA^{*2}, Takeo CHIBA^{*3}, Yoshihisa AIZU^{*2}, Haruki SASAKI^{*3}

(原稿受付日 平成 25 年 6 月 28 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

Recently, we have developed a dawn simulation apparatus described elsewhere in this proceeding. This study aimed to evaluate its clinical efficacy. The study comprised the four-day baseline period (D1-D5), the four-day trial period (D5-D9), and the four-day follow-up period (D9-D13). During the whole period, the 24-hour activity was recorded. During the trial period, the gradually increasing light from 0 to 250 lux at eyelids was given between one and four o'clock, followed by collection of saliva to measure the melatonin concentration. The hourly activity between four and five increased significantly during the trial period, probably due to the activity to collect saliva. In addition, the hourly activity between five and six increased significantly on D9 compared to the baseline period, suggesting increased alertness. However, the activity after six did not change significantly. In conclusion, simulated dawn provided by our new apparatus may increase morning alertness for a limited time.

Keywords : Dawn simulation, Biological rhythm, Phase shift, Jet-lag, Alertness

1 はじめに

ヒトが眠っている間に、夜明けのように徐々に照度が増す光を人為的に与える治療法を、擬似夜明け療法 **dawn simulation** と呼ぶ。この治療法は、季節性感情障害（「冬季うつ病」とも呼ばれる）に有効であることが繰り返し報告され、メタ解析でもその有効性が確認された^①。その他にも、認知症高齢者の乱れた安静・活動サイクルが改善したという報告や^②、一般人における自覚的な睡眠の質が改善したという報告もある^③。擬似夜明け

療法の作用機序としては、睡眠誘発ホルモンであるメラトニンの分泌を抑制することにより^④、朝の目覚めを改善することが想定されている^⑤。起床後のコルチゾール濃度上昇が増大したり^⑥、生体リズム位相が前進したりすることも報告されている^⑦。生体リズム前進の結果、認知症高齢者において入眠時刻が早くなり、入眠潜時が短くなり、睡眠時間が長くなり、夜間の活動量が減少することも報告された^⑧。

擬似夜明け療法器は、日本国内においてはほとんど普及していないが、諸外国では床頭台に置くタイプや^⑨、頭の上から照射するタイプが販売・使用されている^⑩。しかしこのような光照射器を用いた場合、睡眠中の頭の向きによって眼瞼に当たる照度に変化してしまい、一定の効果が得られない可能性がある。このため、われわれは、どのような頭の向きで寝ても、十分な照度の光が眼

*1 室蘭工業大学 ひと文化系領域

*2 室蘭工業大学 もの創造系領域

*3 株式会社ブラウシッパ

臉に当たるような形状の照射器を開発し、本紀要の別稿で報告した⁹⁾。本稿では、本照射器の生体への影響を評価するため、夜明け前に光照射を行い、睡眠状態、活動量、唾液中メラトニン濃度に対する影響を調査した。

2 対象と方法

対象は、心身ともに健康で、午後9時以降のアルバイトに従事していない、室蘭工業大学機械航空創造系学科4年の男子学生10名（うち、2名は留学生）とした。本研究の目的、方法、予想される結果、想定される副作用について説明し、全員より同意を得た。また、研究終了後、謝金を支給した。

研究期間は全体で13日間とし、1日目(D1、以下～日目をD～と表記)の17時開始、D13の9時終了とした。このうちD5の夜からD8の夜までの4夜、研究室に宿泊し、この期間以外は自宅に寝泊まりした。研究期間中を通じて、毎夜22時就寝、午前4時起床とし、平常時に比べ数時間、睡眠覚醒リズムを前進させることとした。ただし、起床後の再入眠や日中の仮眠は可とした。

入浴中以外の終日、wActiSleep+ Monitor (ActiGraph, Pensacola, FL)を装着し、活動量を記録した。wActiSleep+ Monitor には3軸加速度センサーが内蔵されており、axis-1, -2, -3方向の活動量が1分毎に記録される。得られた結果を1時間毎に3軸の合計を求め、活動量の指標とした。

毎夜の睡眠状態を、睡眠計スリープスキャン SL-501 (TANITA, 東京)で評価した。添付解析ソフトにより睡眠サイクルなどのパラメーターを解析し、睡眠点数を求めた。睡眠点数は100点満点表示され、良好な睡眠の目安は60点以上とされている。

睡眠に関する自覚症状に関し、毎朝起床後、「OSA 睡眠調査票 MA 版」⁽¹⁰⁾を用いて調査した。得られた結果は、その報告にしたがい、因子Ⅰ(起床時眠気)、因子Ⅱ(入眠と睡眠維持)、因子Ⅲ(夢み)、因子Ⅳ(疲労回復)、因子Ⅴ(睡眠時間)の5因子に下位分類し、標準化得点(Zi値)を求めた。

研究室に寝泊まりしている期間中の毎日(D6～D9)、1時から4時までの3時間、最高250ルクスへと照度が徐々に上昇する擬似夜明け療法を行った(図1)。光照射終了後、Salimetrics Oral Swab (Salimetrics LLC, State College, PA)にて唾液を5分間ずつ3回収集し(4:00～4:05、4:15～4:20、4:30～4:35)、速やかに冷凍保存した。その後、室内灯を点灯し、朝9時まで自由に過ごすこととした。OSA 睡眠調査票 MA 版を記入した後は、再入眠可とした。

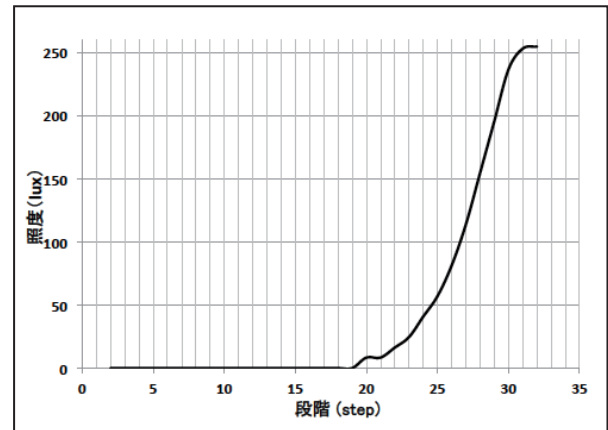


図1 擬似夜明け療法の調光プログラム。33ステップ、3時間かけて250ルクスへとS字状に照度が増加するプログラムである。

唾液中のメラトニン濃度は、Direct Saliva Melatonin ELISA kit (Bühlmann, Schönenbuch, Switzerland)を用い、ELISA法を行った後、吸光度を測定した。その後、添付文書にしたがい、4パラメーター非線形回帰モデルで回帰式を求め(GraphPad Prism 6, GraphPad Software, Inc. La Jolla, CA)、メラトニン濃度を計算した。欠損値があったため、各日3回測定したうち、得られた値の平均値をそれぞれの日の結果とした。

得られたデータは、特に記述していない限り、繰り返しのある一元配置分散分析で解析し、post hocテストとしてBonferroni法を用いた(エクセル統計2012, SSRI, 東京)。なお、 $p < 0.05$ の場合を統計学的に有意とした。

3 結果

被験者10人全員が試験を完遂した。まず、参加者の自覚症状として、擬似夜明け療法を数日施行したところ、光照射終了後に再入眠しにくくなったと述べる者が多かった。このことから、擬似夜明け療法により、朝の目覚めが改善した可能性が示唆された。

擬似夜明け療法終了直後の唾液中メラトニン濃度を図2に示す。D6からD9までの4日間、特に変化を認めなかった($F=0.7386$, $p=0.5374$)。なお、統計解析にあたり、欠損値のため一元配置分散分析を行った。

次に擬似夜明け療法終了後の4時から12時まで、1時間毎の活動量を、繰り返しのある一元配置分散分析で検討した。その結果、D6からD9まで、光照射終了直後の4時台の活動量が、他のいずれの日より有意に高かった($p < 0.001$) (図3)。これは、光照射終了後に唾液サンプルを収集するという活動が加わったため、当然の結果

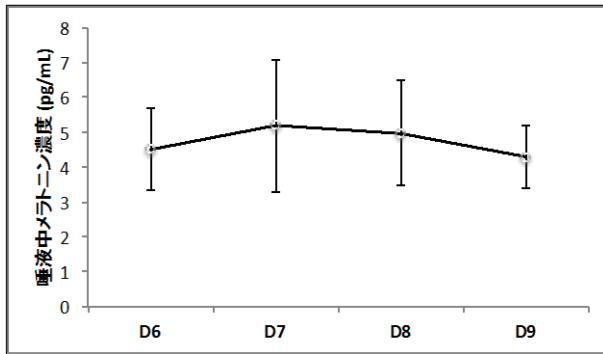


図 2 擬似夜明け療法による唾液中メラトニン濃度の変化。平均値±標準偏差を示す。擬似夜明け療法 1 日目(D6)から 4 日目(D9)まで、光照射終了直後に唾液を収集した。この 4 日間、唾液中メラトニン濃度に、特に変化は認められなかった。

と言える。次に 5 時台の活動量については、D9 の活動量が D2～D5, ならびに D10～D12 の 5 時台の活動量に比べ、有意に高かった ($p<0.01$) (図 4)。このことは、擬似夜明け療法を 4 日間連続で行った結果、速やかに再入眠することができなくなったことを意味しており、覚醒度が向上した可能性が示唆される。6 時以降の活動量については、擬似夜明け療法による変化は認めなかった (data not shown)。

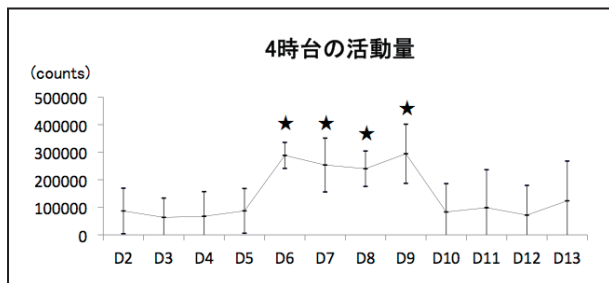


図 3 4 時台の活動量の変化。平均値±標準偏差を示す。擬似夜明け療法 1 日目(D6)から 4 日目(D9)まで、光照射終了直後である 4 時台の活動量が有意に増加した ($p<0.01$)。しかし、光照射終了翌日(D10)以降は、光照射前 (D2～D5) と同程度に戻った。光照射期間中は、唾液収集のための行動が影響したためと考えられた。

次に OSA 睡眠調査票 MA 版の結果を因子 I～V に下位分類し、標準化得点 (Zi 値) を求めた。例えば 1 晩目の睡眠状況は翌日評価されるので、図には D2 と表されている (図 5)。繰り返しのある一元配置分散分析で検討した結果、因子 II (入眠と睡眠維持) の標準化得点に対して、被験者内因子 (日数) が有意な影響を与えていた ($F=2.6786$, $p=0.0047$) (図 5)。Post hoc 検定の結果、

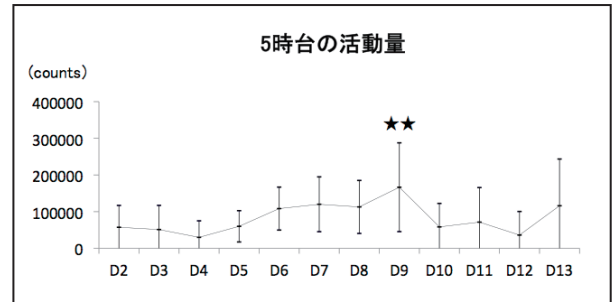


図 4 5 時台の活動量の変化。平均値±標準偏差を示す。擬似夜明け療法 4 日目(D9)において、5 時台の活動量が、擬似夜明け療法開始前 (D2～D5) や終了後 (D10～D13) に比べて、有意に高かった ($p<0.05$)。

いずれの水準の対比較においても有意差は認められなかったが、D10 の標準化得点は D2, D3 に比べて高い傾向が見られた (それぞれ、 $p=0.0520$, $p=0.0869$)。一方、因子 I, 因子 III, 因子 IV, 因子 V の標準化得点に対しては、被験者内因子は有意な影響を与えなかった。

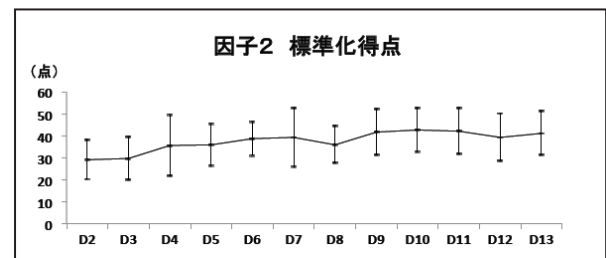


図 5 OSA 睡眠調査票 MA 版因子 II の標準化得点 (Zi 値) の推移。平均値±標準偏差を示す。被験者内因子 (日数) が有意な影響を与えていた ($p=0.0047$) が、post hoc 検定の結果、いずれの水準の対比較においても有意差は認められなかった。

図 6 にスリープスキャンによる睡眠点数の推移を示す。欠損値のため一元配置分散分析を行ったが、日数の影響は認められなかった ($F=0.4590$, $p=0.9243$)。

なお、本研究において、被験者に有害反応は一切認められなかった。

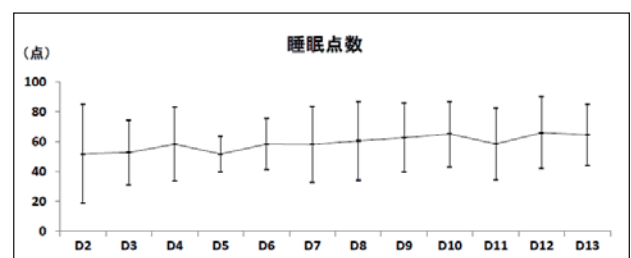


図 6 スリープスキャン(TANITA)による睡眠点数の推移。平均値±標準偏差を示す。被験者内因子 (日数) は有意な影響を与えていなかった。

4 考察

本研究では、われわれが開発した擬似夜明け療法の臨床効果を確認するため、生体リズム位相前進作用を検証した。まず、活動量に関しては、唾液収集作業を行った4時台の活動量が増加したのは当然と言えるが、5時台の活動量が擬似夜明け療法4日目(D9)に有意に増加していた。すなわち、擬似夜明け療法を数日続けると、覚醒度が向上することが示唆された。またこの結果は、擬似夜明け療法を数日施行したところ、光照射終了後に再入眠しにくくなったという、被験者の自覚症状とも合致している。

一方、6時以降の活動量に関しては、擬似夜明け療法の影響は認められなかった。その理由として、擬似夜明け療法により一時的な覚醒状態は得られたものの、概日リズムまでは変化しなかった可能性が考えられる。実際の外国旅行の場合、起床後に仕事や家事など、何らかの活動をする場合が普通であろう。しかし、本研究では、唾液収集後に再入眠可としたため、覚醒状態を維持・増強するような刺激が足りなかった可能性がある。時差症候群の改善を目的に擬似夜明け療法を行う場合、光照射終了後に再入眠してしまわないよう、十分な刺激を与える工夫が必要であろう。

次に睡眠状態については、OSA 睡眠調査票 MA 版による自覚症状の因子Ⅱ(入眠と睡眠維持)において、被験者内因子(日数)による有意な影響が認められた。*Post hoc* 検定の結果、有意水準には達しなかったが、擬似夜明け療法が終了した翌晩(D10)の因子Ⅱ標準化得点が、D2, D3に比べ高い傾向にあった($p<0.1$)。Leppämäkiらは、擬似夜明け療法6日目以降に自覚的な睡眠の質が改善したと報告しており⁹⁾、本研究においても、より長い期間、擬似夜明け療法を行えば、統計学的有意差が得られた可能性はある。

一方、因子Ⅰ、因子Ⅲ～Ⅴにおいては被験者内因子(日数)による影響は認められなかった。このうち、因子Ⅰは起床時眠気の評価尺度であるので、擬似夜明け療法の効果が最も期待された点である。本研究で期待通りの結果が得られなかった理由は想像の域を出ない。1つの可能性として、因子Ⅰは“起床時”眠気を評価する尺度であり、起床後の眠気の消失、活動量の増加を評価するものではないという、評価対象の相違が挙げられる。すなわち、起床時眠気に変化しなかったという心理尺度結果と、擬似夜明け療法によりD9の5時台の活動量が増え、覚醒度が向上したというわれわれの考察は、必ずしも矛盾するわけではないだろう。

睡眠誘発ホルモンであるメラトニン濃度について、わ

れわれは擬似夜明け療法を継続するにつれて、唾液中濃度が徐々に減少することを想定していたが、実際には期間中の変動は認められなかった。その理由として、試験当初より4時に覚醒するというプロトコールにしていたため、メラトニン分泌が、擬似夜明け療法期間前に既に抑制されてしまった可能性がある。研究デザインや試薬が異なるため、単純な比較は適切ではないと思われるが、Danilenko et al.の報告¹¹⁾では、光照射終了直後である7時30分の唾液中メラトニン濃度が約8 pg/mLであり、本研究のメラトニン濃度の方が低かった。したがって、メラトニン濃度の変化を位相調節の指標とするには、プロトコール全体の工夫が必要と思われた。

最後に本研究は、時差症候群(いわゆる「時差ぼけ」)に関し、リズム同調に時間がかかるといわれる、東向きの外国旅行をシミュレーションしたものである¹²⁾。例えば日本から米国に旅行に行く際、あるいは欧州から日本に戻ってくる際、数日間、夜間不眠、日中の倦怠感、眠気、胃腸症状を感じる人が多い。職業人においては、職務能率の低下のみならず、交通事故や労働災害といった重大な事故も危惧される。したがって、1日も早く「時差ぼけ」から回復し、日中の注意・集中力が改善することが望まれる。時差ぼけの速やかな解消のため、われわれが開発した擬似夜明け療法器で起床後の活動量を向上し、さらに覚醒状態を維持するような何らかの刺激を加えることで、リズムの同調を早めることが期待される。

5 謝辞

本研究は、平成23年度室蘭工業大学地域共同研究開発センター「プレ共同研究」助成金、ならびに平成24年度ノーステック財団「福祉産業共同研究事業異分野連携型研究開発補助金」を受けて遂行した。また、唾液中メラトニン濃度測定に従事した、室蘭工業大学大学院工学研究科情報電子工学系専攻の齊藤和人君、鈴木修平君、さらに本研究の被験者として参加した、室蘭工業大学機械航空創造系学科の学生の諸君に、謝意を表する。

文献

- (1) Golden RN, Gaynes BN, Ekstrom RD, Hamer RM, Jacobsen FM, Suppes T, Wisner KL, Nemeroff CB. The efficacy of light therapy in the treatment of mood disorders: a review and meta-analysis of the evidence. *Am J Psychiatry*, 162 (2005), p656-62.
- (2) Fontana Gasio P, Kräuchi K, Cajochen C, Someren Ev, Amrhein I, Pache M, Savaskan E, Wirz-Justice. A Dawn-dusk simulation light therapy of disturbed circadian rest-activity cycles in demented elderly. *Exp Gerontol*. 38 (2003), p207-16.

- (3) Leppämäki S, Meesters Y, Haukka J, Lönqvist J, Partonen T. Effect of simulated dawn on quality of sleep—a community-based trial. *BMC Psychiatry*. 3 (2003), p14.
- (4) Terman M, Schlager D, Fairhurst S, Perlman B. Dawn and dusk simulation as a therapeutic intervention. *Biol Psychiatry*. 25 (1989), p966-70.
- (5) Avery DH, Kouri ME, Monaghan K, Bolte MA, Hellekson C, Eder D. Is dawn simulation effective in ameliorating the difficulty awakening in seasonal affective disorder associated with hypersomnia? *J Affect Disord*. 69 (2002), p231-6.
- (6) Thorn L, Hucklebridge F, Esgate A, Evans P, Clow A. The effect of dawn simulation on the cortisol response to awakening in healthy participants. *Psychoneuroendocrinology*. 29 (2004), p925-30.
- (7) Terman M, Juan Su Terman. Circadian rhythm phase advance with dawn simulation treatment for winter depression. *J Biol Rhythms*. 25 (2010), p297-301.
- (8) Terman M, Terman JS. Controlled trial of naturalistic dawn simulation and negative air ionization for seasonal affective disorder. *Am J Psychiatry*. 163 (2006), p2126-33.
- (9) 湯浅友典, 三浦淳, 千葉武雄, 佐々木春喜, 相津佳永: 擬似夜明け療法のための効果的照明方法の検討と装置開発. 室蘭工業大学紀要, 63(2013), p 111-115 .
- (10) 山本由華吏, 田中秀樹, 高瀬美紀, 山崎勝男, 阿住一雄, 白川修一郎: 中高年・高齢者を対象とした OSA 睡眠感調査票 (MA 版) の開発と標準化. 脳と精神の医学 10 (1999), p401-409.
- (11) Danilenko KV, Wirz-Justice A, Kräuchi K, Weber JM, Terman M. The human circadian pacemaker can see by the dawn's early light. *J Biol Rhythms*. 15 (2000), p437-46.
- (12) Barion A, Zee PC. A clinical approach to circadian rhythm sleep disorders. *Sleep Medicine*, 8 (2007), p566-577.

オーストラリアおよびニュージーランドにおける社会政策 の現状から学ぶ —公共サービス、言語教育、ジェンダー平等の観点から—

ハグリー・エリック^{*1}, 清末 愛砂^{*1}, 永井 真也^{*1}

Public Services, Language Education, and Gender Equality from the Viewpoint of Australia and New Zealand's Present Social Policy

Eric HAGLEY ^{*1}, Aisa KIYOSUE ^{*1}, Shinya NAGAI ^{*1}

(原稿受付日 平成 25 年 6 月 28 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

This paper looks at public services, language education and gender equality from an Australian and New Zealand social policy viewpoint and, in doing so, offers some perspectives that Japan's policy makers could take up. Due to the effects of economic and social globalisation, public services, language education and gender equality have become important areas of concern for policy makers and Japan, like other countries, has on ongoing responsibility to its citizens in each of these. Australia and New Zealand have had to deal with changes in them earlier than most other countries due to their size and the relatively quicker impact of globalization on them, and it is for this reason that these countries were chosen to carry out a comparative study. Shinya Nagai looks at Australia's public services while Eric Hagley focuses on the language education policy of that country. Aisa Kiyosue takes up the issue of gender equality policy from a New Zealand perspective.

Keywords : Public Services, Gender Equality, Internationalisation, Social Policy,
Language Education Policy

1 はじめに

本稿は、室蘭工業大学ひと文化系領域に所属する研究分野の異なる 3 名の教員が 2012 年度に以下に示す共同認識の下で、互いの分野を補完しながら行った共同研究の結果を研究報告としてまとめたものである。本研究の実施にあたっては、平成 24 年度室蘭工業大学 21 世紀科学研究費を活用した。

3 教員は、これまでに社会政策の発展に大きく関係する、公共サービス（永井）、言語教育（ハグリー）、ジェンダー平等（清末）の 3 つの課題を中心に研究を進めてきた経緯を有している。その研究過程で、社会政策や公共政策を含む各国の政策の内容が、世界規模の資本主義の巨大化によって生じてきた「経済のグローバル化」を中心とする、さまざまな形態の「グローバル化」により、正と負の影響を大きく受けてきたことを確認してきた。その認識の共有を通し、今後の研究のさらなる発展のために、3 教員が個別に取り組んできた各課題

^{*1} 室蘭工業大学ひと文化系領域

において先進的な取り組みを進めている国の政策から示唆を得るための共同研究を実施することを思いついた。

本研究でオーストラリアとニュージーランドを調査対象国として選んだ理由は、両国がこれらの課題や分野において国際社会から高い評価を受けてきたからである。本研究を通し両国の政策内容やその現状、および日本の政策との違いを明らかにし、今後の研究の布石としたい。

オーストラリアには2012年9月にハグリーと永井が、ニュージーランドには2012年12月に清末と永井がそれぞれ1週間程度滞在し、ヒアリング調査を行った。第2章は永井が担当し、オーストラリアの公共サービスと民営化について述べる。第3章はハグリーが担当し、オーストラリアの言語教育と国際化について述べる。第4章は清末が担当し、ニュージーランドのジェンダー政策について述べる。

2 オーストラリアの公共サービス

2.1 地方自治制度の違い

日本と違いオーストラリアは連邦制の国家であるために各州が強い権限を持っている。一方、連邦政府が徴税の8割を担う中央集権的な要素も兼ね備え、結果的に国と州の権力がバランスしているといわれている。

オーストラリアは、連邦政府、州政府、地方自治体の三層制をとっている。州政府が行政サービスの実施に強い権限を持っており、その下に日本の市町村にあたる地方自治体が置かれている。地方自治体は、非常に弱く政府全体の歳出の5%程度で、健全に運営できなければ州に取り潰されることもあり、原則的に借金をすることは認められていない⁽¹⁾。

地方自治体の歳入構造は日本と似ており、歳入の60%以上を日本の固定資産税に相当するレート(Rates)⁽²⁾が占めている。固定資産税は、地域の便益が還元される地価に課税するものであるため、自治体が地域を活性化しようとする要因の一つである。

2.2 ウロンゴン市での調査

オーストラリアでは、地方自治の状況をウロンゴン市において調査した。シドニーの南65kmに位置する、人口17万人の同市を調査対象とした理由

は、室蘭市と鉄鋼の町という共通点があったからである。ウロンゴン市は、オーストラリアの自治体の特徴を踏まえ、主な歳入をレートが占める弱い財政である。公共サービスの運営状況の調査として、市役所、労働組合、およびウロンゴン大学で聞き取り調査を実施した。

ニュー・サウス・ウェールズ州のシドニーより南のエリアをカバーする南海岸労働組合(すべての職種の労働者が対象)のアーサー・ロリス(Arthur Rorris)書記長に案内役を依頼した。彼の紹介によりウロンゴン市のゴードン・ブラッドベリー(Gordon Bradbery)市長にも聞き取りをすることができた。

ウロンゴン市の状況を財政面から見ると、2011年の決算⁽³⁾における総歳出額は約2.3億豪ドル(2013年6月28日の為替レートで約210億円)であった。項目別で歳出の大きい順にみると、公共交通約4,184万豪ドル(18.2%)、ごみ収集約3,234万豪ドル(14.0%)、管理部門約1,615万豪ドル(7.0%)、公園と運動場の管理約1,511万豪ドル(6.5%)、雨水処理約1,109万豪ドル(4.8%)、水道事業約1,056万豪ドル(4.6%)、図書館約942万豪ドル(4.1%)となる。日本と違い、教育や介護・医療は州政府が担当するサービスである。

支出の上位となる市のサービスから公共交通、ごみ処理、公園と運動場の管理⁽⁴⁾についての聞き取り調査の結果を以下に示す。

2.2.1 公共交通(Transport Services)

公共交通政策は、道路や橋の維持も含め公共交通などの交通全体の運営を担っている。

ウロンゴン市はニュー・サウス・ウェールズ州南部地域の中心都市である。郊外の発達による中心地の衰退は、このまちも例外ではなく、特にリーマンショック以降のまちには空き店舗が目立っていた。中心市街地の衰退はアメリカなど他の国でも深刻な問題であり、地価の下落だけでなく、治安の悪化、教育の問題などの原因とされ地域社会の課題である。

市役所関係者によると、その対策の一環として、郊外にあるウロンゴン大学(学生数2万人)に向けたシャトルバス(Free Gong shuttle)を市民に無料で開放している⁽⁵⁾。利用者は月曜日から金曜日で、一日に11,000人、この12ヶ月では200万人である⁽⁶⁾。公共交通による中心地へのアクセスを改善したところ、実際に中心地への人出が多くなっ

たという。これは中心地の活性化策として市と大学の連携で行なわれた政策である。他の政策においても、市役所と大学が連携して政策を実施することは一般的である。

今後の予定として、ウロンゴン市内における自転車利用計画の見直しや、シャトルバスの拡充も検討している。

2.2.2 ごみ処理(Waste Management)

オーストラリアの地方自治は 3R (Rates, Roads, Rubbish) といわれ、ごみ収集は重要な公共サービスである。

ごみ収集車は大型かつ機械化されており、道沿いに出されたごみ箱を全自動で収集車に回収する。しかし、歳出の 14%と割合も高く、日本と比べても金額的に多いため、その理由を尋ねると、1 トンあたり 120 豪ドル弱の税金を州政府に支払っていると回答があった。州政府が地方自治体に課税しているというのである。

ごみを減らすために課税をする方法は、炭素税も同様で、日本でも有料ごみ袋等があるが個人や企業を対象に課税しており、地方自治体を対象として課税することはない。また、国や都道府県から市町村にインセンティブ誘導のための補助金を出すことはあっても、課税はない。

補助金と課税を複合的に用いると、資金移動が双方向になるため、善い行いには資金を与え悪い行いには課税をするというピグー的な政策をとることが可能になる。しかし、自治体間の課税という方法は政策効果を高める一方で、補助金と異なり課税する側に強制権を与えることになる。

2.2.3 公園と運動場の管理(Parks and Sportsfields)

ウロンゴン市は、公園が非常に広く海岸線も公園として整備されている。市内には 27 カ所の公園、65 カ所の運動場、220 カ所の競技場、155 カ所の遊び場がある。

ウロンゴン市の財政支出を見ると、公園と運動場が歳出の第 4 位で約 1,511 万豪ドル (2013 年 6 月 28 日の為替レートで約 13 億 8,000 万円) の資金をかけている。他の項目として計上されているボタニック・ガーデン約 307 万豪ドルや、自然保護エリア約 272 万豪ドルのような日本では公園管理費になる部分も合わせると約 2,090 万豪ドル (9.1%) になる。参考までに、室蘭市の 2012 年度予算では 5,700 万円強である。日本の社会資本整備は道路や

橋等構築物が多く、公園整備というのはあまり聞かない。

市役所で公園にお金をかける理由を訪ねると、住民が望んでいるからという回答であった。公園を整備して景観がよくなると、土地の価格も上がり、その土地を買えるほどの所得のある人が居住するようになるので、固定資産税が増え、まちづくりの方法としては理にかなっているだろう。日本では住民税も増えることになる。

日本は社会資本で箱モノを作っても、利用率が低いことや維持管理費が高いことが問題になるが、箱モノによって土地の価格が上昇するほどの便益を受けることはあまりない。公園を社会資本として評価し、まちづくりの核に据えることは合理的な方法である。

2.3 民営化政策

公共部門では NPM(New Public Management)として、先進各国で始まった行財政改革は日本でも取り組まれており、橋本内閣、小泉内閣において実行された。

NPM のなかでも、公共サービスに係る民営化政策を「プライバタイズーション」(Privatisation) と呼び、政府に代えて民間企業に公共サービスを委ねる行財政の効率化手法を意味する。日本では、PFI や指定管理者制度等が民営化に該当するが、オーストラリアでは、プライバタイズーションは「売却」を意味する。公共サービスの供給主体は当初から州政府等が所有する会社である。行政が所有し、利益が出ている会社を民間に売却し、その売却で得た資金で他の公共サービスを充実させるのである。売却すると民間企業が運営するようになるため、民営化と捉えられる。

日本では、ゆうちょ銀行や NTT のように政府が全部または一部の資本を持ち続け、会社形態の株式化を目的とする場合があり、株式の売却による資金調達を第一の目標にしていない。日本ではプライバタイズーションは効率化することであるが、オーストラリアでは資金調達することである。

訪問の際に、ニュー・サウス・ウェールズ州が、シドニー港と連動してウロンゴン市にあるケンブラ港を 99 年間リースするという話が出ていた。リースで得た資金を地域の病院の運営資金や教育の改善資金に回すというものである。しかし、港で働く人たちは組合つぶし (リストラ) と考えていた。「プラバタイズ」(Privatise) 以上に「メカナイ

ズ」(Mechanise)という言葉が聞こえ、それは機械の導入による労働者のリストラを意味していた。プラバタイズもメカナイズも市場主義の代名詞として、労働者に非常に嫌われている言葉である。また、このプラバタイズの動機は、教育や医療にお金を回すことで、有権者の支持を得て次の選挙でも当選したいという政治家の野心ではないかと言われていた。

聞き取り調査から半年後の報道によると、州政府が2013年4月に、入札で落札した民間企業に99年リース方式でシドニー港とケンブラ港の貸し付けを正式に決定した。この決定により、同政府はシドニー港のリース料として43億1千万豪ドル、ケンブラ港のリース料として7億6千万豪ドルを手にするようになる。そのうち20億豪ドル以上の額を道路インフラに投資する。限られた財源のなかで、プラバタイゼーションは大きな資金を手にする方法としての選択肢として考えられる。政策的にメリハリの利いた運営している点は参考になる。

2.4 おわりに

ウロンゴン市での調査では、室蘭市が経験した鉄鋼不況を先方も経験していることや、最近のリーマンショックによる不況を経験しているなど条件のよく似た自治体であることがわかった。そして、自治体の行財政運営の方法の異なる点は、新しい自治の手法として参考にできる。

本稿で取り上げた主な公共サービスは行政が計画的に運営しているが、現場の作業は民間企業に委託している。その点は日本でも同様で、特に室蘭市でも全面的に民間企業に公共サービスの提供を委託している。サービスの担い手は、日本もオーストラリアもNGOや日本におけるNPOなどの非営利の団体でも可能である。

自治の異なる点は、公園への支出の大きさにあったように政策の優先順位の違いと、大学などの団体と自治体がより深い連携を行っていることである。

また、州政府の話ではあるが実際にプラバタイゼーションの話もあり、売却益の使い道が重要である。ただ、見方を変えるとプラバタイゼーションは、過大な行政組織を解体する作業であった。

今後の民間に委託した公共サービスの在り方として、外部の民間企業やNGOとの共同での政策実

施を効率的に進めなくてはならない。その一つの手段として「ワーキング・トゥギャザー」(Working Together)が考えられる。ここで、「ワーキング・トゥギャザー」とは、1991年に「Working Together to Safeguard Children」(児童虐待防止へのガイドライン)をイギリス政府が発表し、その手法が省庁横断、情報共有、機関合同研修と能力開発による社会サービスの提供⁽⁷⁾にあったことから、その手法を指している。ワーキング・トゥギャザーでは、ミーティングも頻繁に週1回程度行われ、担当者のトレーニングも共同で行い、それぞれのサービス供給主体が密に連携することで一つの組織のように活動している状況を想定していることから、単なる民間委託の次のステップとして検討すべきである。

その場合、日本のワーキング・トゥギャザーへの課題は、行政の担当者に権限を持たせて、外部委託した関係団体との交渉能力を高めることである。よく会って話をし、問題を共有し、次へと結びつけることは双方の思惑である。そのためには、地域社会の当事者同士としてのパートナーシップの形成が重要である。(永井真也)

第2章 注

(1) 久保田治郎『オーストラリア地方自治体論— 行革先進国に見る地方分権』(ぎょうせい、1998年)、11頁、13頁。

(2) 田尾雅夫・深見真希・草野千秋「ニュージーランドの地方自治—中央政府と地方政府—」京都大学経済学研究科ワーキングペーパーJ-63、2006年、16頁。

(3) Wollongong City Council Delivery Program 2012-17 & Annual Plan 2012-13, Attachment3—Budget2012-13 and Capital Budget 2012-13, p.27.

(4) Wollongong City Council Delivery Program 2012-17 & Annual Plan 2012-13, Attachment2—Annual service plans 2012-2013

(5) ウロンゴン大学シャトルバス
<http://www.uow.edu.au/transport/shuttles/index.html>
(2014.1.15)

(6) ウロンゴン市公共交通
<http://www.wollongong.nsw.gov.au/city/parkingtransport/Pages/publictransport.aspx> (2014.1.15)

(7) イギリス保健省・内務省・教育雇用省著(松本伊智朗・屋代通子訳)『子ども保護のためのワーキング・トゥギャザー』(医学書院、2002年)、110頁、130頁

3 言語教育と国際化

3.1 オーストラリアの言語教育政策

地球上の人間交流は歴史的に一番多く、交流に使われる言語は主に英語である。しかし、言語教育政策においては、英語のみに力を入れるのではなく、国際関係の基になる国と国との相互理解に敬意をはらうべきである。この成果に結びつく外国語教育とそのなかにある文化理解への努力は不可欠である。オーストラリアは、その地政学的な状況を踏まえ、また移民の歴史を通して、文化理解を進めてきた。同様の理由から、国民も外国語教育に関心を持ち 2010 年のエコノミスト・インテリジェンス・ユニットの教育ランキングによりオーストラリアは世界第 2 位になり⁽¹⁾オーストラリアの語学教育も世界的に高く評価されている。

一方、日本も地政学的な意味においては、周辺諸国との状況がオーストラリアと似ているが、他国の文化理解や外国語教育に対する実績は十分とはいえない。日本は移民国家ではないが、国際貿易や留学の実績を考えると、この段階においても十分な実績が積まれていないのが不思議である。外国語教育政策にその答えが見いだせるかもしれない。

1987 年以前のオーストラリアの外国語教育は、ヨーロッパの影響でフランス語とラテン語を基本とするものであった。一部の学校では、たとえばイタリア語やベトナム語等、特定の外国語を学ぶ機会があったが、国全体としての外国語学習政策は実施されていなかった。本来、オーストラリアの教育政策は各州で決定するものであるが、連邦政府の提案に応じることも非常に多い。1987 年に言語政策の専門家であるジョセフ・ロビアンコ (Joseph Lo Bianco) 氏が連邦政府に提出した「言語に関する国家政策」(National Policy on Languages)⁽²⁾と題する報告書は、オーストラリアの外国語教育にとって極めて重要な政策提言となっている。同報告書において、ロビアンコは外国語教育はオーストラリアの国益のみならず、他の教育分野にも好影響を与えるものであると述べた。その結果、1989 年の「国家教育目標」(National Goals for Schooling)⁽³⁾において、英語以外の外国語学習の必要性が謳われることになった。

より最近の「オーストラリアの学校における言語教育に関する国家声明：2005－2008 年」(National Statement and Plan for Languages

Education in Australian Schools)⁽⁴⁾は、文化ならびに文化間にあるものの理解、およびコミュニケーション能力の向上を通じての国際的な責任感を有する「国際人」の育成について言及している。さらには、同声明は外国語学習の目的として、「学習者の知的、教育、文化レベルを豊かにすること、学習者が文化を超えてコミュニケーションを図ることができるようにすること、よりよいコミュニケーションと理解を通して社会の結束に貢献すること、コミュニティにおける既存の言語文化的な資源をさらに発展させること、戦略的、経済的、国際的な発展に貢献すること、個人の就職やキャリアの将来性を高めること」⁽⁵⁾を掲げている。また、同声明は外国語学習者の個人達成目標として、「異なる言語や文化のなかで、およびそれらを超えたところで、コミュニケーションを図り、交流し、交渉できるようにすること、自らおよび他者の言語を理解することで、母国語を含む言語の読み書き能力を伸ばすことができるようにすること、自らや他者を理解し、多様なものの考え方、存在、行動を理解および活用できるようにすること、問題解決を図りながら、批判的かつ分析的な考え方を通して、自らの認識能力をさらに発展させることができるようにすること」⁽⁶⁾を挙げている。

3.2 日本の語学教育政策

2002 年度の文部科学省の白書は、『英語が使える日本人』の育成のための戦略構想⁽⁷⁾として、英語重視の路線を以下のように提示している。

「経済・社会等のグローバル化が進展する中、子どもたちが 21 世紀を生き抜くためには、国際的共通語となっている『英語』のコミュニケーション能力を身に付けることが必要であり、このことは、子どもたちの将来のためにも、我が国の一層の発展のためにも非常に重要となっています。

(中略)

この戦略構想においては、施策の達成目標として、中学校卒業段階で『挨拶や応対等の平易な会話（同程度の読む・書く・聞く）ができる（卒業者の平均が英検 3 級程度）』、高等学校卒業段階で『日常の話題に関する通常の会話（同程度の読む・書く・聞く）ができる（卒業者の平均が英検準 2 級～2 級程度）』ことを目指しています。」

ここでいう「グローバル化」とは英語コミュニケーション能力の向上のみを意味している。この政策を推進するために設定された以下の 5 項目か

らなる目標からも明らかである。

「(1) 英語教員の資質向上及び指導体制の充実
英語教員が備えておくべき英語力の目標値の設定、
英語教員に対する研修の充実、ネイティブスピーカーの活用促進等

(2) 学習者のモチベーション（動機付け）の高揚
高校生の留学促進、平成 18 年の導入を目標に
大学入試センター試験においてリスニングテストを実施

(3) 教育内容等の改善 『スーパー・イングリッシュ・ランゲージ・ハイスクール』の拡充、外国語教育改善実施状況調査等

(4) 小学校の英会話活動の充実 小学校の総合的な学習の時間等で英会話活動を行う場合に、外国語指導助手 (ALT) による指導が行えるよう支援等

(5) 日本人の国語力の向上 『これからの時代に求められる国語力』の検討、子どもの読書活動の推進、学校教育における国語教育の充実等」

これらからオーストラリアの政策との違いがいくつかみえてくる。まず、上記の白書の冒頭にも「我が国の一層の発展のためにも」とあり、日本の施策の達成目標の基には「国益」がある。学習者の生活や個人の発展よりも、国の発展の方が重要視されていると思われる。学習意欲を上げるために留学と入学試験の変更を提案しているが、それだけでは外国語学習の意欲は上がらないだろう。外国語学習に取り組む際の個人的な目的・動機が達成されることに配慮した戦略が示されるべきではないか。そのようにすることで、意欲の向上方法がみえてくる。

他にも気になる点がある。日本では母国語と外国語教育は関係がないものであると考えられているようであるが、多くの研究者(Leopold 1939-49⁽⁸⁾, Ianco-Worrall 1972⁽⁹⁾, Ben-Zeev 1977⁽¹⁰⁾)によると外国語教育は母国語に好影響を与えたとの結果が出されている。Ojima et al.⁽¹¹⁾も同様に、外国語教育は母国語に悪影響を与えるものではないとしている。Makin et al.⁽¹²⁾によると、外国語教育は母国語のみならず、他の教育科目にも好影響を与える。日本語の重要性は疑う余地もないが、外国語教育との関連性をつけた方がより効果的である。

文部科学省の白書でさらに気になる点は、英語学習のみに重点がおかれているところである。日本の地政学的な位置を考えると、中国語学習により大きな関心がおかれていないことに疑問がある。

オーストラリア連邦政府は、中国語、日本語、インドネシア語、ヒンディー語の学習を優先的に扱っている。さらに、韓国語とベトナム語を準優先的言語として指定している。日本の地政学的な位置からは、中国語、ロシア語、韓国語にも重点がおかれるべきである。2003 年度以降の文部科学省の白書においても外国語教育についての言及がなされているが、基本的に 2002 年度のもものが基準となっている。国際化やグローバル化が進むなかで、子どもたちが 21 世紀を生き抜いていくためには、英語だけに依存しない方が良いであろう。

3.3 オーストラリアにおける移民のための語学教育

本研究のためにオーストラリアを訪ねた際に、市民グループによる無料の英語クラスの案内を各所で目にした。移民した人にとって様々な面で良いサービスであり、コミュニティへの入口にもなっている。語学力があるとより活発に社会参加できるようになるので政府はこのような市民グループも援助している。少子化と高齢化が進行している日本では、今後は移民との関係が重要な政策となるだろう。

移民に関する重要な政策の一つとして、移民のための国語教育が考えられる。どこの国に移住しても、移民はその国の言語を利用できるようにならないと不自由を感じる(Christensen & Stanat, 2007⁽¹³⁾)。経済面（たとえば、職種が限られる）、社会貢献や教育面等において不自由があると生活に悪影響がある。オーストラリア政府は、移民に 510 時間分の無償の英語教育プログラムを用意している。そのプログラムに関する説明は、27 か国語でなされている。国際化のためには外をみるだけでなく、国内をみて、国外からの移民を受け入れる気持ちを持つことも大切である。オーストラリアの「移民・市民権省」(Department of Immigration and Citizenship) の目的は「効率よく管理した入国および移民の定住を通して、オーストラリアの将来を作る」⁽¹⁴⁾である。

一方、日本の法務省のなかにある入国管理局のホームページには、そのモットーとして「ルールを守って国際化」⁽¹⁵⁾と記されている。同ページには「我が国にとって好ましくない外国人を強制的に国外に退去させることにより、健全な日本社会の発展に寄与しています。」とも書かれている。これでは移民は暖かく迎えられていないような印

象を受けるであろう。移民のための日本語教育支援についてもホームページには何も書かれていない。周辺の諸外国とより良い関係を築くためには、国内の日本語教育から始めることが大切である。

3.4 おわりに

難民に対するオーストラリアの政策は、現段階では多くの課題を抱えており、教育全般の発展に対してもさらなる取り組みがなされるべきである。しかし、オーストラリアでは、外国語教育は「国益」である以上に、学習者の総合教育のために重要不可欠なものであると考えられている。その観点からすると、教育が進歩すると自動的に学習者の国際的視野も発展することになる。その結果、オーストラリアの国際化や教育全般にも好影響が与えられる。外国語教育と移民のための英語教育は、将来、オーストラリアが国際社会の一員として活躍するために、極めて重要である。

日本の地政学的な状況はオーストラリアと似ているところがあるため、外国語教育に関しても、互いに学ぶことができる。語学教育に関して、現在の日本が検討すべき課題は、英語のみに重点をおきつつけるべきであるかどうか、また、移民のための日本語教育をどのように発展させることができるかということにある。(ハグリー・エリック)

第3章 注

(1) Australian International Education Advisory Council Report, 2013, “Australia – educating globally Advice from the International Education Advisory Council”
<https://aei.gov.au/IEAC2/theCouncilsReport/Documents/Australia%20%E2%80%93%20Educating%20Globally%20FINAL%20REPORT.pdf> (Retrieved 1 July, 2013)

(2) Lo Bianco, J. 1987, The National Policy on Languages, December 1987-March 1990. Report to the Minister for Employment, Education and Training.
http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/custom/portlets/recordDetails/detailmini.jsp?_nfpb=true&_ERICExtSearch_SearchValue_0=ED355819&ERICExtSearch_SearchType_0=no&accno=ED355819 (Retrieved 1 July, 2013)

(3) MCEETYA, 1989, National Goals for Schooling.
http://www.mceetya.edu.au/mceecdy/hobart_declaration,11577.html (Retrieved 1 July, 2013)

(4) MCEETYA, 2005, National Statement and Plan for Languages Education in Australian Schools 2005–2008, DECS Publishing, Adelaide.

(5) 著者による翻訳。

(6) *Ibid.*

(7) 文部科学省 2002 年白書
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpab200201/hp

ab200201_2_015.html (Retrieved 1 July, 2013)

(8) Leopold, W. F., 1939–49, The Speech Development of a Bilingual Child, 4 vols, Evanston.

(9) Ianco-Worrall, A. D., 1972, ‘Bilingualism and Cognitive Development’, *Child Development*, Vol. 43, pp. 1390–1400.

(10) Ben-Zeev, S. 1977, ‘The Influence of Bilingualism on Cognitive Strategy and Cognitive Development’, *Child Development*, Vol. 48, pp. 1009–1018.

(11) Ojima, S., Nagai, A., Taya, F., Otsu, Y., 2011, Effects of Foreign-Language Learning on the Mother Tongue Centre for Advanced Research on Logic and Sensibility The Global Centers of Excellence Program, Keio University.
http://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/download.php?file_id=52682 (Retrieved 1 July, 2013)

(12) Makin, L., Campbell, J. & Jones Diaz, C. 1995, One Childhood: Many Languages, Sydney Harper- Collins Educational.

(13) Christensen, G., and Stanat, P. 2007, Language Policies and Practices for Helping Immigrants and Second-generation Students Succeed. Washington, DC: Migration Policy Institute.
www.migrationpolicy.org/pubs/ChristensenEducation091907.pdf (Retrieved 1 July, 2013)

(14) Department of Immigration and Citizenship,
<http://www.immi.gov.au/about/> (Retrieved 1 July, 2013)

(15) 入国管理局, <http://www.immi-moj.go.jp/> (Retrieved 1 July, 2013)

4 ニュージーランドのジェンダー政策

4.1 調査の背景—ニュージーランドの女性の地位

ニュージーランドは、1938 年に「社会保障法」(Social Security Act 1938)を制定させ、税金に基づく各種の所得保障給付や医療保障給付等を導入する等、包括的な社会保障制度の拡充を図ってきたことから、世界で名だたる福祉国家としてその名が知られるようになった。また、1873 年に「女性雇用保護法」(Employment of Females Act 1873)を制定し、女性の法定労働時間(8 時間制)や女性の深夜労働の禁止等に関する規定を設けることで、世界的には極めて早い段階で女性労働者の保護政策にも着手してきた国でもある⁽¹⁾。さらには、1893 年に世界初となる国政レベルでの女性の参政権を認めており⁽²⁾、労働分野のみならず、政治分野においても早い段階で女性の参画を促す政策がとられてきた。現在までに二人の女性首相が誕生している⁽³⁾。2008 年の総選挙の結果、国会(一院制)の 122 議席のうち、41 議席を女性が占め、女性国会議員の割合は 34%となった⁽⁴⁾。

世界経済フォーラム(World Economic Forum)⁽⁵⁾が毎年公表している「グローバル・ジェンダー・ギャップ報告書」(Global Gender Gap Report)によ

ると、2012 年のニュージーランドのグローバル・ジェンダー・ギャップ指数 (Global Gender Gap) ⁽⁶⁾ は 0.7805 とされており、世界第 6 位として位置づけられた ⁽⁷⁾。なお 2011 年のランクは第 6 位、2007 年から 2010 年までは第 5 位であった ⁽⁸⁾。一方、日本のグローバル・ジェンダー・ギャップ指数は 0.6530 となっており、順位でいうと、世界第 101 位と極めて低い ⁽⁹⁾。日本の場合は経済と政治の分野における男女格差が大きく、経済分野においては 0.5756 (世界第 102 位。ニュージーランドは 0.7822 で世界第 15 位)、政治分野においては 0.0705 (世界第 110 位。ニュージーランドは 0.3703 で世界第 9 位) という指標が出されている ⁽¹⁰⁾。

このように、ニュージーランドは社会保障分野のみならず、ジェンダー平等の分野においても、アイスランドや北欧諸国等につき、相対的にその達成度が高い。本調査においてニュージーランドを調査先として選択した理由の一つは、同国でとられてきた政策が、ジェンダー平等の分野において他の国家、特に先進国に比べると大きな遅れをとっている日本の政策に大きな示唆を与える比較対象となると判断したからである。

4.2 訪問先の詳細

本調査では、ニュージーランドの総合的な意味でのジェンダー政策全般に関する聞き取り調査をするために、「女性課題省」(Ministry of Women's Affairs) や各分野で活躍をする民間女性団体の統括団体である「ニュージーランド女性評議会」(National Council of Women of New Zealand) の本部を訪問した。また、ジェンダーの専門家であるウェリントン・ビクトリア大学社会学・カルチュラルスタディーズ学部のキャロル・ハリントン (Carol Harrington) 専任講師へのインタビューも実施した。そのほか、ジェンダーに起因する暴力の一形態であり、本章の執筆者がかねてより関心を寄せてきたニュージーランドにおけるドメスティック・バイオレンス (DV) の状況や 1995 年に制定された「ドメスティック・バイオレンス法」(Domestic Violence Act 1995) の 2009 年の改正後の履行状況に関する聞き取り調査をするために、DV を含むファミリー・バイオレンスの被害者 (子どもを含む) の支援活動を行っている NGO「女性の避難所」(Women's Refuge) を訪問し、同団体のスタッフおよび同団体の準会員団体で、移民や難民の女性のファミリー・バイオレンスの被害者を

対象に支援活動を行っている NGO「シャクティ・コミュニティ協議会」(Shakti Community Council Inc. シャクティとはサンスクリット語で女性の力、エネルギーを意味する) のメンバー団体「シャクティ・エスニック・女性支援グループ・ウェリントン」(Shakti Ethnic Women's Support Group Wellington Inc.) のスタッフ等からも話を聞かせてもらうことができた。

ニュージーランドでは、ジェンダー不平等やジェンダーに起因する暴力とも密接なかかわりを有する児童虐待の深刻化が問題視されてきたが、その状況を受け、同政府は 2012 年 10 月から被虐待児の支援と保護に向けての抜本的な改革に乗り出した。その改革の内容を調査するために、関係省庁である社会開発省 (Ministry of Social Development) 内の「子ども・若者・家族局」(Child, Youth and Family) を訪問し、保護・ケア・保護支援担当マネージャー (Manager Protection, Care and Protection Support) およびその場に同席していただいたニュージーランド警察の全国ファミリー・バイオレンス・コーディネーター (National Family Violence Co-ordinator) から、政府の「子どものための行動計画」(Children's Action Plan) の詳細を聞かせていただいた。また、子どもの権利や児童虐待の問題に取り組んできたロバート・ルドブルック (Robert Ludbrook) 弁護士と家族法の専門家であるウェリントン・ビクトリア大学法学部のビル・アトキン (Bill Atkin) 教授からも児童虐待の社会的背景および法的な見地からの専門的な知識を提供していただいた。

本稿ではスペースの関係もあり、これらのすべてを紹介することができないため、女性課題省およびニュージーランド女性評議会での聞き取り調査や文献調査で得られたデータに基づいて同国のジェンダー政策の概要や課題等を簡略にまとめて報告する。DV や児童虐待に対する法政策についての報告は別の機会に譲る。

4.3 女性課題省の概観

ニュージーランドの女性課題省は 1984 年の政治基本方針を受け、同年にジェンダー平等の課題を扱うために設置された独立した省である。1975 年にメキシコ・シティーで開かれた第一回世界女性会議で「国際女性年の目標の実施に向けた世界行動計画」(The World Plan of Action for the Implementation of the Objectives of the International

Women's Day) が採択され、そのなかであらゆるレベルの政策やその決定過程に女性の声を反映させるために、専門的なナショナル・マシーナリーを設置することが求められた（パラグラフ 31）⁽¹¹⁾。同計画の採択以降、世界各国でジェンダー平等に関するナショナル・マシーナリーが設置されてきた経緯がある。女性課題省はジェンダー平等に関するニュージーランドのナショナル・マシーナリーである。同省には大臣⁽¹²⁾の下に、1名のチーフ・エグゼクティブおよび政策、指導部における女性、企業支援の各分野を担当する3名のディレクターから構成される実務上の執行チームがいる⁽¹³⁾。なお日本では、2001年になってからようやく内閣府のなかに男女共同参画局がナショナル・マシーナリーとして設置されたが、同局はあくまで一つの府省庁の一部局にすぎない。

女性課題省が取り組んでいる課題は①女性の大幅な経済的独立、②指導部への更なる女性の導入、③暴力からの安全の確保の増加の三分野に分かれる。同省の設置目的は女性の地位向上に関する政策上の助言を各省に与えることにあり、また同時に同国の政策をジェンダーの観点から見直すことにある。業務の一環として、政府関係の各委員会のメンバーとして適切だと思われる女性の推薦も行っている。その結果、政府関係の委員会のメンバーの42%が女性で占められるようになった（2012年12月の聞き取り調査当時）。

女性課題省は独立した省であるものの、専用の建物は有しておらず、ビルの一角に事務所を借りて業務を実施している。また支部も設置されていない。27名の常勤スタッフ（大臣を除く。うち2名は男性）が在職している（2012年12月の聞き取り調査当時）。また、2011年の総歳入は500万6,000NZドル（2013年6月28日の為替レートで約3億8,000万円）であり、2012年の総歳入は457万6,000NZドル（2013年6月28日の為替レートで約3億5,000万円）であった⁽¹⁴⁾。これらのことから分かるように、同省は人員面からも財政面からみても極めて小規模である。現在は政策助言を主たる業務としているが、将来的に同省が課題として取り組んでいる3分野において、さまざまな立場にある女性の地位向上をもたらすための個別のプロジェクトを遂行、あるいはそのようなプロジェクトを行っているNGO等への財政支援をすることになれば、これだけの歳入ではその実施は困難である。

ニュージーランドは「女性差別撤廃条約」を1985年に、「女性差別撤廃条約選択議定書」を2000年に批准した。同条約の批准に際し、当初はいくつかの留保をつけていたが、2007年にはすべての留保を外した⁽¹⁵⁾。日本もニュージーランドと同年に同条約を批准したが、個人通報制度を規定している同条約の選択議定書の批准は現在にいたるまで行っておらず、早期の批准が求められるところである⁽¹⁶⁾。これまでにニュージーランドは同条約締約国に課せられる定期報告書である政府報告を女性差別撤廃委員会に7回提出している。政府報告の第7回審査は2012年7月に実施され、同委員会からの総括所見が同月に発表された。女性課題省は政府報告の作成を担当しているほか、同委員会における審査時には大臣のほか、同省のスタッフを派遣する等、国際的な意味での対外業務についても責任を有している。そのなかには、たとえば国連女性の地位委員会（CSW）の年次総会等のジェンダー平等に関する国際会議に出席する前に、国連女性機関（UN Women）や国際ゾンタ（ZONTA International）のようなジェンダー平等に向けての国際的な活動を行っている諸機関との情報共有のための会議を開催する等業務も含まれている（年3回の会議）。

また、国内の団体との協議という点に関しては、ジェンダーの分野で活発な活動を展開している重要なNGOと日常的に連絡を取っているほか、特に暴力に関する分野においては、その分野で活躍しているNGOに対して、同省が行っている関連業務についての説明を行っている。

4.4 ジェンダー政策の現況

ニュージーランドには、日本で1999年に制定された「男女共同参画社会基本法」のようなジェンダー平等政策全般を網羅するための法は制定されていないが、1993年に制定された「人権法」（Human Rights Act 1993）⁽¹⁷⁾によって、ジェンダー差別、宗教や人種に基づく差別、皮膚の色による差別、性的指向等のさまざまな形態の差別が禁止されている⁽¹⁸⁾。

雇用の分野においては、1960年に公共部門における均等賃金を定めた「公職均等賃金法」（Government Service Equal Pay Act 1960）、また1972年にはすべての部門における均等賃金を定めた「均等賃金法」（Equal Pay Act 1972）が制定されている⁽¹⁹⁾。2000年に制定された「雇用関係法」

(Employment Relations Act 2000) においては、職場における差別やセクシュアル・ハラスメント等の被害を受けた被雇用者による苦情の申立てに関する条文が規定されており⁽²⁰⁾、2008 年の同法の改正時には職場における授乳施設の設置を雇用者に課すための条文が追加された。また、人権法にその根拠規定がおかれている人権委員会 (Human Rights Commission)⁽²¹⁾ のなかに、2001 年の同法の改正に基づいて「雇用機会均等コミッショナー」 (Equal Employment Opportunities Commissioner) があらたに設置された。同委員には、雇用における機会均等や同一価値労働同一賃金に関する助言や指導を与える責任が課せられている⁽²²⁾。このようにニュージーランドでは均等賃金に関する法制度が時代を追って整備されてきたが、女性課題省での聞き取り調査においても指摘がなされたように、男女間の賃金格差は他国と比べると小さいものの、女性の賃金は男性のそれと比較すると 9.3% (2012 年段階)⁽²³⁾ 低い。

日本と比較するとジェンダー平等のレベルがはるかに進んでいるといえるニュージーランドであるが、女性差別撤廃委員会から出されたニュージーランドの第 7 回政府報告に対する最終見解では、同国のすべての国家計画や政府機関において、ジェンダーの主流化を図るための手段が十分にとられていないことに対する憂慮が示されている (パラグラフ 16)⁽²⁴⁾。同パラグラフではあわせて、同国における女性のための国家計画が 2009 年に終了した後新しい計画が策定されていないこと、および女性課題省が多くの任務を果たすのに十分な財政を有していないことに対しても憂慮が示されている。

ニュージーランドでは、2005 年に「ファミリー・バイオレンスに対する行動に向けてのタスク・フォース」 (Taskforce for Action on Violence within Families) が設置され、それ以降、現在にいたるまで政府機関と NGO が協力して、ファミリー・バイオレンスを根絶するための取り組みを行ってきた。また、2007 年からは同タスク・フォースが「ファミリー・バイオレンスに関するアクション・キャンペーン」 (Campaign for Action on Family Violence) を実施している。しかし、上述の女性差別撤廃委員会の最終見解も指摘しているように、詳細な統計データはないが、女性に対する暴力は高いレベルで発生している (パラグラフ 23)⁽²⁵⁾。

4.5 女性団体からの声ーニュージーランド女性評議会とシャドウ・レポート

1896 年にクライストチャーチで設立され、現在、ウェリントンに本部を置いているニュージーランド女性評議会は、家族や育児、暴力等の問題にみられるジェンダーや女性の地位に関する課題にフェミニストの視点から熱心な取り組みを行ってきた。国内に 22 の支部を有し、また、個人および各種の女性団体が会員として登録している。いうなれば、同国で活動をしている女性団体の民間統括組織として位置づけられるものである。本部には 2 名の有給常勤スタッフを配置し、ボランティアやインターンも受け入れている。

長い歴史を有するニュージーランド女性評議会は、同国でジェンダー平等に向けての立法や他の具体的な政策が進められるように政府機関が発行する報告書等を議論し、改善に向けてのキャンペーン (たとえば、フェイスブックを通して、性暴力に反対するキャンペーンを実施) を組織する等の活動を行っている。また、女性差別撤廃委員会における定期審査に民間からの声を反映させることができるようにするための NGO による共同のシャドウ・レポートを作成するときに、各 NGO からの意見等を取りまとめる役割も果たしている。女性差別撤廃委員会による第 7 回定期審査の際も「差別を経験する女性たちー2012 年」 (Women Experiencing Discrimination-2012) と題するシャドウ・レポートを発行し (2012 年 4 月)、同委員会に提出している⁽²⁶⁾。

以下では、ニュージーランド女性評議会での聞き取り調査およびシャドウ・レポートの内容に基づいて、ニュージーランドにおけるジェンダー平等に関する民間の女性団体の声を簡単に紹介する。

2004 年にニュージーランド政府は 5 年間の「賃金と雇用におけるエクイティのための行動計画」 (Pay and Employment Equity Plan of Action) に着手した。同年に、同行動計画の実施機関として、「ビジネス・刷新・雇用省」 (Ministry of Business, Innovation, and Employment) の労働局 (Department of Labour) のなかに、「賃金と雇用におけるエクイティのための部局」 (Pay and Employment Equity Unit) が設置された。しかし、行動計画の終了にあわせて、2009 年に同局は閉鎖された。雇用分野においては、男女間の賃金格差や男女間の職域分離問題があり、また同一価値労働同一賃金も達成されていないにもかかわらず、同閉鎖により、公的

部門におけるジェンダー不平等や男女間の賃金格差を縮小させるためのプログラムを続行できなくなった⁽²⁷⁾。この点からみると、現ニュージーランド政府は賃金や雇用におけるエクイティ問題に関して後ろ向きの姿勢をとっているといえる⁽²⁸⁾。

また、世界規模で進む景気の後退はニュージーランドでも女性の貧困問題に影響を与えてきたが、女性のなかでも特にマオリと南太平洋諸国にルーツを持つ女性たちが特に大きな影響を受けている⁽²⁹⁾。女性労働者のなかでも、これらの女性たちの時間当たりの賃金は、女性全体のそれと比べると明確に低い⁽³⁰⁾。

女性に対する暴力についてであるが、上述の政府によるファミリー・バイオレンスに対するキャンペーンの実施により社会における意識が向上し、以前に比べるとより多くの暴力の被害者が NGO に救済を求めるようになった⁽³¹⁾。そのような状況であるにもかかわらず、一方で政府からの財政支援は削減されており、NGO による支援状況に影響が出ている⁽³²⁾。

4.6 おわりに

ニュージーランドにおける聞き取り調査の結果、同国は日本と比べると格段に人口（約 450 万人）が少なく、また首都でありながらも都市としての規模が非常に小さいウェリントン（約 40 万人）の中心部に、公的および民間のジェンダー関係の機関が集中していることから、公的機関と NGO との距離が物理的に近く、相互交流しやすい環境にあることがみえてきた。両関係者が互いに知り合いであることが多く、日本に比べるとニュージーランドの方がジェンダー平等政策を含む政策全体に民間からの声を反映させやすい状況にあるといえよう。

ジェンダー政策の研究においては政治参画、経済、雇用、女性に対する暴力、家族、教育、健康等のさまざまなテーマにおける個別の状況を丁寧に把握し、各々のテーマに基いた（法）政策の履行状況や課題を見出していく必要がある。今後は日本のジェンダー政策の改善につなげるための比較研究という意味において、日本よりもその達成度が高いニュージーランドのジェンダー政策のうち日本の政策にとって特に参考となる点、あるいはニュージーランドと日本の両国において改善を要する共通課題を個別のテーマ毎に深く掘り下げて検討していきたい。（清末愛砂）

第 4 章 注

(1) 日本では 1911 年に工場法が制定され、同法のなかで女性の工場労働者と 15 歳未満の子どもの就業時間の制限や深夜業の禁止等の規定が盛り込まれた（1916 年施行）。1947 年には労働基準法が制定され、女性労働者の時間外労働や休日労働の制限および深夜業の原則禁止に関する規定が盛り込まれたが、1997 年の同法の改正に基づき、1999 年以降はこれらの規定が廃止されている。ただし、妊産婦に関する保護規定は現行法内にも残っている。また、1985 年に勤労婦人福祉法を改正する形で男女雇用機会均等法が制定（1986 年施行）され、雇用管理における性差別が禁止された。2007 年の同法の改正以降は雇用管理における男女双方に対する差別が禁止されている。

(2) 日本では 1945 年に普通選挙法の改正が行われ、初めて女性の参政権が認められた。

(3) 1997 年に国民党のジェニー・シップリー（Jenny Shipley）が第 36 代首相として就任（在職期間は 1997 年から 1999 年）し、ニュージーランド初の女性首相となった。また、1999 年には労働党のヘレン・クラーク（Helen Clark）が第 37 代首相として就任した。クラーク元首相の在職期間は 1999 年から 2008 年までの長期に渡るものであった。

(4) Ministry of Women's Affairs(a), 2010, The Status of Women in New Zealand, CEDAW Report 2010: New Zealand's Seventh Report on its Implementation of the United Nations Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination against Women, Wellington, p.8. <http://mwa.govt.nz/sites/mwa.govt.nz/files/cedaw-2010.pdf> (Retrieved 24 June, 2013)

(5) 世界経済フォーラムは 1971 年に設立された独立した国際 NGO であり、スイスのジュネーブに本部が置かれている。世界状況の改善を目指して、政治経済や他の国際問題に関するレポートの作成、各種のプロジェクトの実施等を行っている。

(6) 世界経済フォーラムは各国のジェンダー平等の達成度を示すために、毎年、グローバル・ジェンダー・ギャップ報告書を公表している。グローバル・ジェンダー・ギャップ指数とは、①経済、②教育、③政治、④健康のそれぞれの分野におけるジェンダー平等の達成度を測ったものであり（最大値は 1）、同指数の総合スコアは 4 分野のスコアを平均したものである。

(7) World Economic Forum, 2012, The Global Gender Gap Report 2012, Cologny/Geneva, p. 10. http://www3.weforum.org/docs/WEF_GenderGap_Report_2012.pdf (Retrieved 24th June, 2013)

(8) *Ibid.*, p.8.

(9) *Ibid.*, p.11.

(10) *Ibid.*, pp.10-11.

(11) United Nations, 1976, Report of the World Conference of the International Women's Year, New York, F/CONF.66/34, p.14.

(12) 2013 年 6 月現在、国民党の女性国会議員ジョー・グッドヒュー（Jo Goodhew）が女性課題省大臣を務めている。

(13) 女性課題省では、政策分野担当のディレクターに聞き取り調査を行うことができた。なお、執行チームの

構成や担当者の略歴は、同省のウェブサイトに掲載されている。<http://mwa.govt.nz/our-people> (Retrieved 25 June, 2013)

(14) Ministry of Women's Affairs(b), 2012, Ministry of Women's Affairs Annual Report for the Year Ended 30 June 2012, Wellington, p.18.

(15) Ministry of Justice, Convention on the Elimination of All Forms of Discrimination against Women, <http://www.justice.govt.nz/policy/constitutional-law-and-human-rights/human-rights/international-human-rights-instruments/international-human-rights-instruments-1/convention-on-the-elimination-of-all-forms-of-discrimination-against-women> (Retrieved 25 June, 2013)

(16) 日本は女性差別撤廃条約選択議定書に基づく個人通報制度のみならず、国際人権条約におけるいずれの個人通報制度も現在にいたるまで受託していない。

(17) 1993 年人権法は、「1971 年人種関係法」(Race Relations Act 1971)および「1977 年人権委員会法」(Human Rights Commission Act 1977)を修正統合する形で制定された。制定以降、現在にいたるまで6回にわたる改正がなされている。

(18) 1993 年人権法第 21 条に禁止対象となる差別の形態が規定されている。

(19) 日本では労働基準法第 4 条で、男女同一賃金の原則が規定されている。

(20) 日本では雇用機会均等法第 11 条によって、事業主は職場におけるセクシュアル・ハラスメントに対応するために必要とされる体制の整備、雇用管理上の措置を行わなければならないことが規定されている。また、厚生労働大臣の指針(2006 年厚生労働省告示第 615 号)により、セクシュアル・ハラスメント防止に向けて事業主がとらなければならない具体的な措置内容(全 9 項目)が定められている。

(21) 人権委員会は「1977 年人権委員会法」(Human Rights Commission Act 1977)によって設置され、1993 年人権法によりその機能が強化されてきた。同委員会はニュージーランドにおけるレイシズムやジェンダー差別等の人権問題を取り扱う独立した専門機関として位置づけられている。

(22) Human Rights Commission, 2012, New Zealand Human Rights Commission's Report to the Committee on the Elimination of Discrimination Against Women (CEDAW): Participation by NHRIs 52nd Session, 18th July 2012, Wellington, p. 5. <http://www2.ohchr.org/english/bodies/cedaw/docs/ngos/New>

ZealandHumanRightsCommissionForTheSession.pdf (Retrieved 25 June, 2013)

(23) Ministry of Women's Affairs(b), *cp.cit.*, p.6.

(24) Committee on the Elimination of Discrimination of All Forms of Discrimination against Women, 2012, Concluding Observations of the Committee on the Elimination of Discrimination against Women: New Zealand, Geneva, CEDAW/C/NZL/CO/7, p. 4. <http://www2.ohchr.org/english/bodies/cedaw/docs/co/CEDAW-C-NZL-CO-7.pdf>. (Retrieved 25 June, 2013)

(25) *Ibid.*, p.6.

(26) シャドウ・レポートはニュージーランド女性評議会の以下のウェブサイトからダウンロードできる。<http://www.ncwnz.org.nz/assets/Uploads/Women-experiencing-discrimination-2012-FINAL.pdf> (Retrieved 26 June, 2013)

(27) *Ibid.*, p.9 and p.40.

(28) *Ibid.*, p.39.

(29) *Ibid.*, p.5.

(30) *Ibid.*, p.41.

(31) *Ibid.*, p.19.

(32) *Ibid.*, p.2 and p.20.

5 結語

日本における社会政策は、グローバル化による貧困の拡大、特に女性の貧困化の益々の悪化等を受け、新しい局面を迎えている。少子化に伴う人口減少社会がこのまま続いていくなれば、日本への移民の導入がさらなる重要な政策課題として現実味を帯びるであろう。

オーストラリアにおける公共サービスや言語教育・国際化、およびニュージーランドにおけるジェンダー政策は、これまでの日本では多くの関心が払われてこなかった。しかしながら、本調査を通して得られたこれらの分野に関する知見は、今後の日本の社会政策のみならず、行政運営等の異なる分野に関する政策においても、十分参考になるものであろう。

2008 年四川大地震後の被災教員の経験とその特徴 ー発災 5 年目の現地インタビューー

賈 冉^{*1}, 前田 潤^{*2}

Characteristic of the Experience of the Suffering Teachers after 2008 Sichuan Great Earthquake -Based on the interview in affected area at 5th year -

RAN JIA^{*1}, Jun MAEDA^{*2}

(原稿受付日 平成 25 年 6 月 28 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

We could contact and interview with 10 suffering teachers at the affected area by 2008 Sichuan Great Earthquake. Those who lived in crucial damaged area at the time of earthquake tend to avoid the story just after the earthquake and also those who lost or injured their family member tend to avoid the story of family. Though each of interviewers have been experiencing and living various type of stresses and situations, interviewers who feel to live comfortable life by the will of government and people represent their gratitude. Those who didn't receive special support and those who made new family tend to talk their daily life stress.

Keywords : interview with suffering teacher, 2008 Sichuan great earthquake, tendency of story

1 はじめに

2008 年 5 月 12 日中国時間で 14 時 28 分 04 秒、中国四川省汶川県でマグニチュード 8.0^{注1}の地震が発生した。中国民政部^{注2}の報告によれば、この地震による死者は 6 万 9,227 人、負傷者は 37 万 4,643 人に上り、1 万 7,923 人がなおも行方不明となっている⁽¹⁾。今回の地震は 1949 年に中華人民共和国(以下中国)が成立して以来、最大級の被害を受けた地震であった。例えば、被災面積は 44 万平方キロメートルで、これは日本の総面積より広く⁽²⁾、その破壊力は阪神・淡路大震災(マグニチュード 7.3)

の約 30 倍であった⁽³⁾。死傷者の総数も中国史上最大の約 46 万人で、被災者数は 4,624 万人に上回っている。

四川省北川羌(チャン)族自治州という地域は、今回の地震災害で最も大きい被害を受けた地域の一つで 15,645 人の死者があり、今回の地震の死者数全体の約 22.6%を占めていた。そして町は完全に破壊された(図 1)。北川県老城区^{注3}の約 80%の建物、北川県新城区^{注3}の約 60%以上の建物が破壊された。この老城区及び新城区(図 2)を併せて曲山镇と呼び、ここがいわば北川羌(チャン)族自治県の県庁所在地であった。本震以降、長期間余震が続き、土砂崩れによって川が堰きとめられて地震湖が生じ、曲山镇はもっとも厳しい被害状態となった。

*1 公共システム工学専攻

*2 室蘭工業大学 ひと文化系領域

2008年5月22日、当時の国務院^{注4}総理である温家宝が北川の被災状況を視察したときに、新しい北川を作ると発表し、2008年6月11日に国務院の合意を得て汶川地震における復興支援法案を策定し、山東省が四川省北川県の再建を支援することにした⁽⁴⁾。

2008年11月、以前の県庁所在地であった曲山鎮から23キロ離れた広大な土地に、新しい町を建設することを決定し、当時中国の総書記である胡錦濤によって「永昌鎮」^{注5}という名が付けられた⁽⁵⁾。この土地に決定したのは、まず、安全の観点から、四川の龍門山断層帯^{注6}から離れるためである。そして、経済的観点からみると、四川省の第二の都市である綿陽市から約40キロメートルと割に近いため、北川県の経済的發展に寄与でき、北川県の災害復興が早く終わることができると考えたので

ある⁽⁶⁾。

これは地震後の唯一の「异地重建」の町である。异地重建とは、災害などによって破壊された町をそのまま再建するのではなく、別の新しい場所に町を建て直すことを言う。2009年5月12日に、まず北川中学の再建が始まり、一年間半後の2010年9月に、新しい永昌鎮という町が完成した⁽⁷⁾。

2008年の四川大地震では、四川省の生徒ら若年者の死者・行方不明者は5,335人と報道された⁽⁸⁾。特に、曲山鎮にある曲山小学校（図3）は1,023人の児童のうち約400人の死者や行方不明者が出た。また、16名の教員の死者があり、負傷者は14名であった⁽⁹⁾。生き残った教員らは、大震災の被害を受け、親戚、友人、同僚を失った悲しみに耐え、約40%の生徒が亡くなった現実、住んでいた町の変化などの厳しい状況に直面した。



図1 曲山鎮震災前後の比較

（この図は本研究者が曲山鎮に掲示されている写真を撮影し、作成したものである）



図 2 曲山鎮の市街
(本研究者が 2011 年 12 月に撮影)



図 3 曲山小学校地震遺址
(本研究者が 2011 年 12 月に撮影)

2 本研究の課題

2008 年の四川大地震では、北川県が最も被害が大きく、学校現場で多くの児童、生徒が亡くなっている。教員も被害にあった。震災から 5 年が経ち、そして新たに 2013 年 4 月 20 日にまた大きな地震が四川省雅安を襲った。

本研究では、四川大地震当時から現在まで経験した生活状況と、新しい地震が、被災者に与えた影響について明らかにすることを目的に、学校関係者から聞き取り調査を行った。

3 方法

まず、四川大震災の状況を事前に文献およびインターネットで情報収集し、次に、北川県永昌鎮

の事情に詳しい専門家にコンタクトをとって、その調整の下で現地学校関係者にインタビューを実施した。

現地に関する調査は、2011 年 12 月に四川師範大学で第 3 回日中災害事例研究会が開かれ、その際に、大きな被害があった曲山鎮を訪れ、被災状況を観察した。現在、この曲山鎮は多くの人が犠牲者を追悼できるように記念碑が建てられ、観光地のように訪問者に開かれ、崩れた建物の下にまだ眠る多くの犠牲者に花や線香を手向けることができるようになっている。

また、インターネットで、北川県の被災状況や被害程度、復興支援や町の再建に関するデータを入手した。

被災者へのインタビュー調査を実現するために日中災害事例研究会の世話人である吉沅洪氏（立命館大学応用人間科学科教授）から、北川県の事情に詳しい専門家として陶新華氏（中国蘇州大学心理保健センター長、教育学院副教授）の紹介を受け、その後、直接、陶副教授とコンタクトをとった。陶副教授は心理学の専門家として、四川大地震で被害を受けて新たに再建した小中学校の教員に向けて何度もポジティブ心理学^{註 7}の講義を行っている。そこで陶副教授にメールで依頼し、永昌鎮でインタビューイとして適切な学校関係者を選んで頂いた。

実際にインタビューを実施する前に対象者に向けた承諾書を作成し、インタビューでの調査項目を立て、インタビュー協力者に支払う謝金を用意した。また、謝金は、一人当たり 20 元、インタビュー時間は特に定めなかった。

調査項目は、個人属性、2008 年の四川大地震、2013 年の雅安地震の状況、政府と民間団体からの支援などを含めて、表 1 として示した。

表 1 調査項目

個人属性	
氏名	性別
年齢	民族
職場	担当
家族	住居
2008 年の四川大地震	
被害状況	当時状況
救援期状況（テント生活）	復興期状況（永昌鎮）
2013 年の雅安地震の状況	
政府と民間団体からの支援	

4 結果

現地でインタビュー調査を実施したのは、2013年5月9日から5月10日までで、四川省北川羌(チャン)族自治县永昌鎮の永昌小学校で10名の学校関係者に行った。

インタビューが実現するまで、仲介者の陶副教

授には、調査項目の検討をしていただいた。その結果、調査項目として、政府の支援に関係することは除外された。また、北川羌(チャン)族自治县の教員研修学校の学校長が地元の仲介者となり、幾つかの幼稚園、小中学校を陶副教授と周り、最終的に永昌小学校が対象校となった。

表2 調査結果

氏名	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
性別	女	男	女	男	女	男	男	女	男	男
年齢	50	47	45	55	32	39	59	41	49	48
民族	羌族	羌族	漢族	漢族	漢族	羌族	漢族	羌族	漢族	羌族
震災当時の職場	桂溪にある小学校	曲山小学校	曲山小学校	安県黄土鎮の小学校	曲山鎮近郊の病院	安県黄土鎮の小学校	曲山小学校	曲山小学校	安県黄土鎮の小学校	曲山小学校
震災当時の担当科目	数学	国語	数学	国語		数学		数学	数学	
震災当時の役職		リーダー	クラス担当	クラス担当		クラス担当				教務主任
現在の担当科目	数学	国語	数学		保健	数学	科学	数学	数学と科学	
現在の他の役割		学籍管理、教務副主任		寮生の管理	保健師				クラス担当	副校長及び教務主任
震災前の家族成員	夫と息子	妻と娘	夫と息子		夫と娘	妻と息子	妻と息子	夫と息子	妻と娘	妻と娘
震災前の住居形態	会社のマンション	自宅	自宅	自宅	病院の寮	自宅		自宅	自宅	
震災前の住所	曲山鎮	曲山鎮	曲山鎮	安県黄土鎮	北川県の田舎	山村	曲山鎮	曲山鎮	安県黄土鎮	曲山鎮
現在の家族成員	内縁の夫と息子	妻と娘	後夫、継子と息子		夫と娘	妻と息子	息子	夫と息子	妻と娘	妻と娘
現在の住所	永昌鎮	永昌鎮	永昌鎮	永昌鎮	永昌鎮	永昌鎮	永昌鎮	永昌鎮	安県	永昌鎮
被害状況	夫死亡		夫死亡			岳父死亡	本人と妻重傷			娘の脚切断

永昌小学校では、校長と副校長に協力をいただき、副校長のオフィスで学校関係者に 1 対 1 でインタビューを録音しながら行った。インタビューは一人約 30 分ほどであった。

2008 年の地震から 5 年が過ぎたが、インタビューのほとんどは、当時の状況を自ら詳しく思い出して語ろうとはしなかった。

4.1 個人属性と被害状況

個人属性と 2008 年四川大地震での被害状況については表 2 にまとめた。

4.2 2013 年雅安地震の状況について

インタビューは、2008 年の地震の経験があるので、2013 年 4 月 20 日の雅安地震のときは 5 年前の地震の様子が思い浮かべていた。そして、山東省の援助を受けて建てた建物の耐震性を信じ、避難を見合わせした人もいた。地震後、遠方の親戚や友人の安否確認の連絡をし、また、被災地でボランティア活動を希望したり、援助金を寄付した人もいた。

4.3 2008 年四川大地震発生直後

2008 年の四川大震災については、当時の状況を思い出したくないために回避した教員もいたが、一部教員から情報提供を得ることができた。

表 2 より、10 名の学校関係者のうち、5 名は地震当時に曲山小学校で働いていた(B、C、G、H、J)。3 名の学校関係者は永昌鎮として再建された同じ場所である黄土鎮というところの山村教員であり(D、F、I)、1 名は曲山鎮付近の桂溪小学校という小学校で働いていた(A)。残り 1 名は曲山鎮付近の病院に勤めていた(E)。

この 5 名の曲山小学校教員の記憶によれば、地震発生時は昼休みが終わったところで、曲山小学校の生徒たちは《紅領巾電視台》という学校が制作したテレビ番組を見ているところだった。したがって、生徒たちは皆教室にいた。学校の建築物の耐震性が弱く、近くにある山は地滑りが発生し、大勢の生徒と教員は避難中に怪我や遭難し、生徒たちも泣いて怖がった。地震後、学校の教員集団の中でリーダー的役割の人がすぐに教員たちを組織して救援活動を行った。しかし教員達だけの力では僅かな被災者しか救出できなかった。

インタビューは 2008 年の震災当時の自分の家族について話すことはほとんどなかった。ただ C はインタビュー中で当時の家族の状況に言及した。彼女の話では「自分の家は地すべりにより埋もれてしまい、記憶と残っていた建物から自分の家の

位置を判断することしか出来なかった。現在も当時の状況を思い出すと、涙が止まらない。しかし、地震当時は涙も出なかった」とのことであった。

さらに、山村教員の D、F、I の 3 名の教員の話によると、地震当時は北川老县城曲山鎮に比べて揺れは弱く、在職していた学校で死亡した人はいなかったが、建物は強く揺れたので、屋根の瓦が数多く落ちてしまった。また、通信途絶は当時の最も重要な問題であり、山奥にある村に住んでいたため、親戚との連絡はすぐに取れなかった。そして、救援者がいつ来るかも分からなかった。情報はラジオの放送から得るしかなかった。また F によると、地震が発生直後、家族に連絡するため、何日間も、2 時間以上かけて山頂近くまで歩いた。それでも、電波が弱く、電話が通じないことが多かったとのことである。

インタビューに共通する点は、教員という職業として地震当時は生徒たちの安全と救助に集中したということである。そして、自分の家族のことは生徒たちが安定してから考え始めたのである。

また、当時の曲山小学校の教務主任の J によれば、地震の後、生徒の家族たちの多くが、自分の子供を捜しに学校に来ては、子供が見つからないことの責任を教員達に問いつめた、ということである。

4.4 四川大地震の救援期

地震後、曲山小学校で生き残った教員や生徒たちは、827 人民解放部隊の教導大隊の駐屯地に配属された。そして、2008 年 5 月 21 日にはそこに「総装備部・綿陽八一野外テント学校」⁽¹⁰⁾という学校を臨時に開校した。2010 年 9 月新学期がはじめるまでの 2 年間、元曲山小学校の 5 名の教員達は皆そこで働いた。H は、「当時の仕事は結構大変で、教科を教えることだけではなく、生徒たちの生活状況を限なく調べ、心理学専門家が協力して支援を行った」と述べた。さらに H は「親戚や親しい人を失った生徒は昼間には他の生徒と一緒に授業を受けるが、夜になると、泣いたり、騒いだり、両親を探すなどの例が多発した。そしてそのとき H は、綿陽市市内に自宅があったが、月曜日から金曜日まで家に帰ったことがなく、母代わりに生徒たちが寝付くまでずっと隣にいて、その後で、他の教員たちと一緒に次日のスケジュールについて 12 時を過ぎるまで打ち合わせ、やっと就寝することが多かった。」と述べた。

また黄土鎮にある小学校に居た I によれば、臨

時に 2008 年 9 月まで黄土鎮の小学校は重慶市に移転し、この間学校は耐震点検と補強工事を行った。2008 年 9 月から 2009 年 9 月までは元の小学校に戻っていたが、2009 年 9 月からは安昌鎮の小学校に転勤し、続いて 2010 年 9 月には永昌鎮にある永昌小学校（図 4、図 5）に転勤し、現在に至っている。



図 4 永昌小学校
(本研究者が 2013 年 5 月に撮影)



図 5 永昌小学校
(本研究者が 2013 年 5 月に撮影)

次に A の話によれば、A は 2008 年 5 月 20 日には桂溪にある元の小学校に戻ったが、当時は仮設の小学校で授業の再開の準備を行った。一部の生徒は学校に来ることができず、家居したままという状況にあり、教員たちをグループにわけ、家庭訪問を行い、生徒たちや家族の被害状況を把握した。また、地震発災時に学校にいた人は直接の被害は受けなかったが、教員や生徒たちの家庭の被害状況が甚大だった。地すべりのため、山の麓に家がある生徒たちは両親を失い孤児になってしまった。従って、学校は再開されたが、初めは生徒

たちの心理的支援に重点を置いた授業を行った。秋の授業が始まってから、通常に授業が行われた。

また B と G は地震によって負傷したため、武漢市と重慶市の病院で短期の治療を行った。治ってから 827 人民解放部隊の教導大隊の駐屯地での野外テントによる学校での仕事が始まった。しかし、2010 年に G とその妻は、交通事故に遭い、妻は死亡、G も重傷を負った。病院の医師によれば、回復には 5 年の期間が必要だとのことである。G は自分は楽観的な人間で、二回の災難にも頑張ってきてきた。しかし、当時の地震に関することは思い出したくないと述べるのであった。

4.5 四川大地震の復興期（永昌鎮）

今回の調査に協力した 10 人の教員のうち 9 人は今の永昌鎮に住んでいる。I のみ永昌鎮から 14.3 キロメートルから離れた安県県城花菱鎮という町に住む。また A は地震前には亡くなった夫の社宅に住んでいたが、現在は、内縁の夫の家に住んでいる。国や復興支援省である山東省によって建てられた低額で購入できる集合住宅があるが、これは、曲山鎮の元住民にのみ購入の権利がある。

インタビュー全員が、政府の「异地重建」という特別な政策により、通常より 20 年も早く発展したような恵まれた生活環境になったと言った。現在の生活や学校の施設にも満足しているようだ。しかし、D と F は曲山鎮に住んでいなかったため購入資格がなく、新たにより高額な住宅をローンで購入せざるを得なかった。D は「生活が結構大変で、仕事にも疲れている」と述べた。



図 6 永昌鎮市街
(本研究者が 2011 年 12 月に撮影)

図 6 は、「异地重建」後の永昌鎮の様子である。さらに、C は再婚したが、元家族と現在の家族

の両方の面倒を見なければならない。継子のことについて、「厳しく接することが出来ない。何度か子供のため話したが、うまく受け入れていなかった」とのことであった。

皆は、現在の永昌鎮はまだ完成していないため、町らしくなるまでに時間が必要だと考えていた。例えばAは現在の商業施設は地震前と比べて、まだ完全ではないと述べた。

また、学校の生徒たちの学籍を管理している担任教員Bから得た情報によれば、永昌小学校は羌（チャン）族の生徒が総生徒人数の約 50%を占めている。そのため、綿陽市教育局からの指示と小学校校長をはじめ教員たちの努力の下で、永昌小学校は中国唯一の羌（チャン）族の自治県県城所在地の小学校として、特長ある教育内容と方法を展開しているという。

図 7 は、生徒達がチャン民族の舞踊の特長を取り入れたラジオ体操を行っている様子である。



図 7 ラジオ体操の様子
(本研究者が 2013 年 5 月に撮影)

5 考察

調査により、教員という学校と家庭に二重に責任を持つ特別な職業にある方々が、震災直後、救援期、復興期の異なった時期で体験したことが示された。ここでは、職場の違いや家族の被害程度の違いによる各時期の被災者の様相について考察する。そして新たな家族の再建に伴う課題及び雅安地震の状況についても考察を加える。

5.1 職場の違いによる検討

今回調査した B、C、G、H、J の 5 名のインタビ

ュイーは、2008 年地震当時、被害がとて大きかった曲山小学校に勤務していた。この 5 人の中で G、H、J の 3 名はインタビューで地震直後の状況について語ることを回避した。また、この 5 名は、むしろ現在の生活状況や永昌小学校の変化について話したがるのであった。その他のインタビュイーの A、E、F、I の 4 名は、当時の地震状況を話してくれた。回避はトラウマティックなストレス反応の一つであり、この簡単な比較から、元曲山小学校の教員は地震当時受けた心理的ストレスが他の教員より高かったと推測される。

一方、元曲山小学校の教員であるこの 5 名のインタビュイーは、震災による危機的体験と救助経験、救援期の野外テント学校、復興期の現在の永昌小学校まで、この 5 年間に様々な経験をしてきた。教員達は自らも同僚を失ったり生徒を失ったことへの喪失感と同時に罪悪感や無念な思いを経験したが、国、地方政府、国民からの援助や現在の恵まれた生活を大切に考えていた。インタビュー中に、今の生徒たちや永昌小学校、現在の仕事に対しての熱意も語った。この教員としての熱意が生徒たちの助けとなったと感じているようだ。

元曲山镇出身の人ではない 5 名の中の 3 名（D、F、I）は、地震後に特別な待遇を受けられなく、住宅もローンで購入している。D は生活の疲れについて語っており、言い換えれば、特別な待遇を受けられなかった彼らは震災復興における生活ストレスを述べたのである。

5.2 家族の被害程度からの検討

表 2 にあるように、10 名のインタビュイーのうち 5 名の家族が被害を受けている。しかし、インタビューの中で彼らは亡くなった家族に関して簡単な言葉で家族構成が変化したことしか言わなかった。これは、地震から 5 年間に過ぎたが、不快な記憶を思い出したり、亡くなった家族や家族構成の変化を言いたくないという気持ちの現れだと考えられる。

それ以外の家族に特に変化がないインタビュイーは、家族の状況がある程度語った。このような大震災で、自分の家族が被害を受けなかったことがとても幸運なことだと思っているようだ。特に元曲山小学校で働いていた教員がそうである。これは幸運なことだと考え、社会に感謝する気持ちで生活を続けたいという。家族に変化があってもなくてもすべてのインタビュイーの生活は変化しており、新しい永昌鎮で生活を続けている。

5.3 新たな家族の再建についての考察

今回のインタビューの中で夫を失い、新しく伴侶を求めた人が2名いた（AとC）。こうした家族の再編によって、現在の新しい伴侶の家族と共に、元夫の両親の世話もせねばならないということであった。また、新しい伴侶にも子供がいる場合があるので、子供と新しい両親との関係も地震後の問題の一つである。継父母も実子ではないため、遠慮があり、子供も現在の継父母を以前の両親と比べている。AやCのように再婚などをした人は、他のインタビューが経験しない生活ストレスを経験していると考えられる。

5.4 雅安地震の状況についての考察

インタビューたちは、雅安地震の際に、5年前の地震の様子を思い出しており、大災害からの影響が残る。しかし、慌てて取り乱したり、避難したりするような人は少ないので現実的な対応ができていていると考えられる。

また、ボランティア活動を希望したり、寄付したりしたことは、自分たちの受けた多くの支援への感謝の表れであろう。

6 まとめ

永昌小学校の10名学校関係者に対する聞き取り調査によると、元曲山小学校の教員は四川大地震直後の話題を回避する人が多かった。家族の被害があるインタビューは特に元家族について回避した。また、曲山鎮に暮らしていた人は現在の生活に対する満足度が高く、これは政府の特別な政策が影響していると思われる。2013年4月20日の雅安地震時に5年前の地震の影響は余りなかったようである。

ただ、今回の調査人数が少ないため、全体的な傾向とまでいうことは出来ない。また、災害後のストレスは5年後、10年後、さらに長い期間の影響を確かめることも必要である。調査対象数を増やし、長期にわたる影響を確認することは今後の課題である。

謝辞

本研究の協力に対し蘇州大学陶新華副教授と北川県教員進修学校、永昌小学校の校長および教員に感謝します。

参考文献等

- (1) 百度百科ホームページ
<<http://baike.baidu.com/view/3486152.htm>>
- (2) 石川有三「四川大地震の起こり方と震度分布」
<<http://www007.upp.so-net.ne.jp/catfish/shobou-ishikawa.pdf>>
- (3) 凌星光, 日中科学技術文化センター理事長
「当局の四川大地震への対応」
<http://scpj.jp/download/sichuan_dadizhen_taiou.pdf>
- (4) 新华网快讯（新华网快讯：新華ネットの速報）
<http://news.xinhuanet.com/politics/2008-06/18/content_8391394.htm>
- (5) 四川新闻网 2009年6月25日文章《北川：新县城是如何选址的》
<<http://scnews.newssc.org/system/2009/06/25/012072912.shtml>>
- (6) 《民生周刊》2011年第20期《新北川造成之路》
<http://paper.people.com.cn/mszk/html/2011-05/18/content_823444.htm?div=-1>
- (7) 百度百科ホームページ
<<http://baike.baidu.com/view/4403622.htm>>
- (8) 新華ネット 2009年5月7日
<http://www.sc.xinhuanet.com/content/2009-05/07/content_16458293.htm>
- (9) 天府早報 2010年7月26日
<<http://morning.scol.com.cn/new/html/tfzb/20100726/tfzb389028.html>>
- (10) 四川教育庁ホームページ
<<http://www.scedu.net/chushi/web/1358841819.shtml>>

注1：地震の規模マグニチュード Ms 8.0（中国地震局）、Mw7.9（USGS）。中国地震局は当初地震の規模を M7.8 と発表していたが、その後の再解析で Ms8.0 に修正した。アメリカ地質調査所（USGS）は当初 Mw7.8 と発表し、後に Mw7.9 に修正した。

注2：中華人民共和国民政部は、中華人民共和国国務院に属する行政部門で災害での救援活動を管轄している。（中華人民共和国民政部ホームページより）<<http://www.mca.gov.cn/>>

注3：老城区は日本の旧市街という。新城区は日本の新市街という。

注4：中華人民共和国国務院（簡：国务院）は、中華人民共和国の最高国家行政機関である（中華人民共和国中央人民政府ホームページより）<<http://www.gov.cn/xwfb/gwy.htm>>

注5：この名にした理由はその場所の隣町である「永安鎮」と「安昌鎮」の一字を使ったのである。この二つの文字はその町の人々の永遠の昌運を願うという意味もある。

注6：龍門山断層は、中国・四川省北部にある龍門山脈

の下を走る断層である。（東京大学地震研究所 2008 年 5 月 12 日中国・四川省の地震について）＜

<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/topics/china2008/>>

注⁷：ポジティブ心理学（英語: positive psychology）とは個人や社会を繁栄させるような強みや長所を研究する、近年注目されている心理学の一分野である。ただ精神疾患を治すことよりも、通常の人生をより充実したものにするための研究がなされている。即ち、ポジティブ心理学は、デベロップメント・カウンセリングの一分野である。（一般社団法人日本ポジティブ学会ホームページより）＜<http://www.jppanetwork.org/>>

教 育 改 善 報 告

流体運動と電磁場のアナロジーを用いて理解促進を目指した学生実験 湧き出し・吸い込みと二重湧き出し

高木 正平^{*1}

A Simple Laboratory Experiment Exploiting the Analogy between Potential Flow and Electromagnetism for Use as a Heuristic Aid Source-Sink and Doublet

Shohei TAKAGI^{*1}

(原稿受付日 平成 25 年 6 月 28 日 論文受理日 平成 26 年 1 月 24 日)

Abstract

It is well known that both electromagnetic fields and irrotational fluid flows are governed by Laplace's potential equation, and in two dimensional cases, solutions for a wide variety of boundary conditions are readily obtainable through use of a complex potential function. This paper describes a simple electric experiment that was developed for instructional purposes in a fluid mechanics laboratory, which exploits the analogy between source-sink (doublet) flows and the electromagnetic field created by two point charges in a conducting medium. The apparatus consists of two electrodes (which correspond to the source and the sink) separated by some distance on a conductive paper, onto which a prescribed DC voltage difference is imposed. In the resulting electric field, lines of equal voltage represent equi-velocity potential lines in source-sink flows. The electric current lines correspond to streamlines in the flow field and are visualized with the aid of iron filings and round magnets. This method is also useful to enhance appropriate understanding of the doublet flow in the infinite limit when the distance between source and sink approaches zero.

Keywords : Source-sink, Doublet, Analogy, Electromagnetism

1 はじめに

室蘭工業大学機械創造系航空宇宙システム工学コースの必修科目である航空宇宙工学実験は、新カリキュラムとして平成 22 年度に開始された。この実験は 3 年生を対象としてその前期に実施され、「円柱周りの風洞実験と流体と電磁気のアナロジー実験」、「ロケットノズルの性能計測」、及び「ペ

ーパークラフト飛行機の飛行力学実験とシミュレーション」の三項目で構成されている。開始から 3 年が終了し、第一項目の流体力学実験では、この間に実験内容に関する追加や改善を幾度か実施し、ようやく狙い通りの実験が実施できるようになった。

円柱周りの流れを記述する複素速度ポテンシャル理論と実在流体（気体）を対比させて、両面から補完することでより深い理解促進を狙っている。具体的には、風洞実験では円柱表面の圧力分布を

^{*1} 室蘭工業大学 もの創造系領域

計測し、ポテンシャル理論との比較を通して、理論との一致や適用限界を学ぶ。また、円柱後方に形成されるカルマン渦列の周波数計測や周波数と主流速度の関係、最後には煙を用いた渦列の可視化を行う。そこから得られる渦列構造と Karman が渦糸近似から求めた渦列の安定解との比較も行う。

一方、ポテンシャル理論は流体力学の基礎として重要である。ポテンシャル理論は電磁気とのアナロジーを使うと理解促進に有効である。そこで本実験では、このアナロジー実験を 2 段構成としている。すなわち、ポテンシャル理論によれば、一様な流れを表す関数と二重湧き出し（あるいは二重吹き出し、doublet）関数を重ねることで円柱周りの流れを作ることができる。二重湧き出し関数は湧き出し（あるいは吹き出し、source）と吸い込み(sink)を限りなく近づけた場合、ある数学的仮定のもとで求めた極限関数である。二重湧き出しは流量が 0 であることから、これを一様な流れの中においた場合、これを取り巻く流線は閉曲線で円となる。そこで、円柱周りの流れの理解を深めるためにアナロジー実験を通して、湧き出し・吸い込みと二重湧き出しについて学ぶ。もう一つのアナロジー実験は、円柱周りの流線は電気学における等電位線に対応できることから、円柱近傍の流線の間隔は密となり、流れは加速されていることを実感できる。また、揚力発生の基本となる循環は電極から流れ出す電流に対応付けができることから、循環を持つ円柱周りの流線を容易に描くことができる。また、電流調整から、淀み点を円柱上あるいは円柱外に自由に設定することができる。さらには円柱周りの流れをジューコフスキー変換することで得られる翼周りの流線に加えて、翼後縁にクッタ(Kutta)の条件を課した流線を描き、揚力係数を求めることもできる。

循環を持たない場合や持つ場合の円柱やジューコフスキー翼周りの流線に関する電気実験は別報⁽¹⁾に譲り、本小論は副題（湧き出し・吸い込みと二重湧き出し）を中心に工夫や改善した内容の報告、さらには実験の実施内容や課題についても触れる。末尾には、狙い通りの実験ができているか、アンケート結果についてもまとめた。

2 ポテンシャル理論

2.1 湧き出しと吸い込み

円柱周りの流れを対象としていることから、二次元の湧き出しや吸い込み関数を取り扱う。複素

座標 $z(=x+iy)$ の原点におかれた湧き出しの複素速度ポテンシャル W_1 は k を正の定数とすると、

$$W_1 = k \ln z \cdots \cdots \cdots (1)$$

と記述される。ここで、 \ln は自然対数である。湧き出し量は湧き出し速度を求め、湧き出しを中心とする一周積分から求まる。結果は、 $2\pi k$ である。一方、吸い込み関数は、吸い込み量が $2\pi k$ であれば、

$$W_2 = -k \ln z \cdots \cdots \cdots (2)$$

と書ける。複素平面の実軸上の、原点から a と $-a$ の位置にそれぞれ湧き出しと吸い込みがある場合のポテンシャル W_3 は、

$$W_3 = k \ln(z-a) - k \ln(z+a) \cdots \cdots \cdots (3)$$

である。

さて、湧き出しと吸い込みを近づけた場合、すなわち $a \rightarrow 0$ とするとき、 $2ak \rightarrow \mu$ の仮定の下で、式(3)の極限関数を導出する際、ほとんどの流体力学の教科書ではテーラー展開から求めている。確認のために、その方法を以下に書き下す。対数のテーラー展開公式によれば、

$$\ln(1+\varepsilon) = \varepsilon - \frac{\varepsilon^2}{2} + \frac{\varepsilon^3}{3} - \cdots$$

であるから、変数 ε に小さい条件を課すならば、2 次以降の項は省略できることから、

$$\begin{aligned} W_3 &= k \ln(z-a) - k \ln(z+a) \\ &= k \ln \frac{z-a}{z+a} = k \ln \frac{1-a/z}{1+a/z} \cdots \cdots \cdots (4) \\ &\approx k \ln(1-2a/z) \end{aligned}$$

となり、 $a \rightarrow 0$ とするとき、 μ を定数として $2ak \rightarrow \mu$ と仮定するならば W_3 の極限関数 W_4 は、

$$W_4 = -\frac{\mu}{z} \cdots \cdots \cdots (5)$$

と導き出せる。湧き出しや吸い込みを入れ替えれば、式の符号は逆転する。この複素関数は二重湧き出しと呼ばれ、円柱周りの流れを記述する際には重要な関数となる。しかし、ここで最も重要な点は、式(3)と式(5)との関係がテーラー展開法からは直接見えないことである。また、二重湧き出しの電気アナロジー実験は難しいことから、湧き出しや吸い込み実験からこの関数をイメージできない。そのために二重湧き出し関数の導出方法にひ

と工夫が必要となる．加えて， $2ak \rightarrow \mu$ の式の意味も説明なく導入されている．さらに，テーラー展開した式で， $\varepsilon = -2a/z$ とおくと， z が原点すなわち 0 のとき，上記の仮定は十分に満たされているか数学的な疑問が残る．以上の問題点を克服するために，次のように式変形して，極限関数を求めた．

$$\begin{aligned} W_3 &= k \ln(z-a) - k \ln(z+a) \\ &= -2ak \frac{\ln(z-a) - \ln(z+a)}{(z-a) - (z+a)} \cdots \cdots (6) \end{aligned}$$

であり，定数を除いた式は，空間の 2 点 $(z-a)$ と $(z+a)$ 間の対数 $\ln z$ の勾配を示すものである．ここで $a \rightarrow 0$ とするとき，式(6)の極限関数は式(1)を微分したものとなっていることが直接理解できるのである．また，この導関数が有意義であるために， $2ak$ が有限である必要があるのは言うまでもない． $2ak \rightarrow \mu$ の仮定が単に数学的なトリックでないことも同時に説明できるわけである．

2.2 二重湧き出し関数

図 1 に示すように，再び原点から a の A 点には湧き出し， $-a$ の B 点には吸い込みがある場合を考える．改めてポテンシャル関数を W とおくと，その実部 ϕ と虚部 ψ はそれぞれ速度ポテンシャル，流れ関数と呼ばれている．すなわち，

$$\begin{aligned} W &= \phi + i\psi \\ &= k \ln(z-a) - k \ln(z+a) \cdots \cdots (7) \end{aligned}$$

であり，点 A と点 B から点 P までの幾何学条件を図 1 のように極座標を用いて定める．

$$\begin{aligned} \phi &= k(\ln r_A - \ln r_B), \quad \psi = k(\theta_A - \theta_B) \\ \text{where } r_A &= \sqrt{(x-a)^2 + y^2}, \quad r_B = \sqrt{(x+a)^2 + y^2} \cdots \cdots \\ &\cdots \cdots (8) \end{aligned}$$

ここで速度ポテンシャルと流線が一定となる軌跡は，文献(2)にも解説されており簡単な計算からそれぞれ前者は x 軸に，また後者は y 軸を中心にもつ円群で，図 2 に示す通りである．

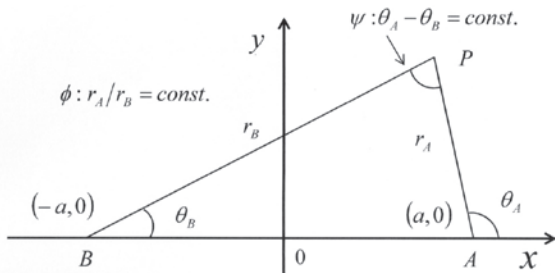


図 1. 点 A に湧き出し，点 B に吸い込みをおいた時の幾何学条件

一方，湧き出しと吸い込みが原点に近づいた極限である二重湧き出しの速度ポテンシャルと流線が一定となる軌跡は，式(5)より図 3 のように作図できる．

図 2 に示した湧き出しと吸い込みが置かれた流れ場の流線とポテンシャル線は，図 3 の二重湧き出しのそれぞれに対応する線に滑らかにつながっていることが理解できる．

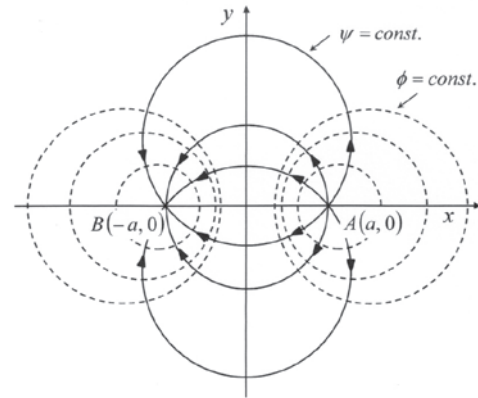


図 2. 湧き出し・吸い込み場における流れの方向を示す矢印を付した流線とポテンシャル線

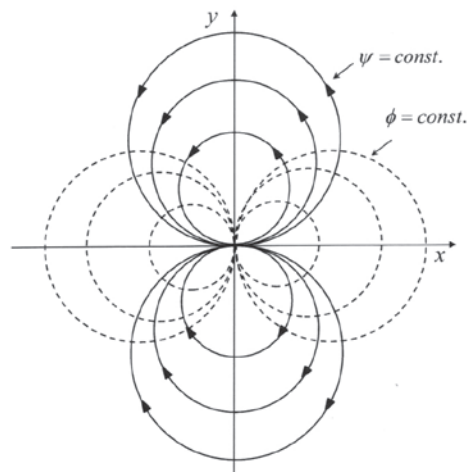


図 3. 二重湧き出しにおける流れの方向を示す矢印を付した流線とポテンシャル線

ていることが理解できる．

2.3 電気学における電流，電界，電圧の関係

図 4a のように十分広い錫箔や導電紙上に点 A と点 B に底面断面が半径 b の円状電極を置き，点 B を負極として点 A に電位差 V を印加する場合を考える．電流は電子の流れであるから電流の方向は

電界（電場）の方向に一致し、電流密度は電界の強さに比例することになる。すなわち、電極 A から半径方向 r の密度を i_r 、電界を E_r とすると、

$$i_r = \sigma E_r \cdots \cdots \cdots (9)$$

の関係がある。ここに、 σ は抵抗の逆数であり、電気伝導率（あるいは導電率）と呼ばれる。電極 A から電極 B までのある一定の大きさの電流の流れる経路は電流の流線となり、電界の接線とも一致し、電流の流線が交わることはない。

電位の等しい点を連ねると導体が均一ならば一般に連続な線ができる。この線を等電位線という。電流は等電位線に沿って流れることはなく、電流密度ベクトルは常に等電位線に直角となる。

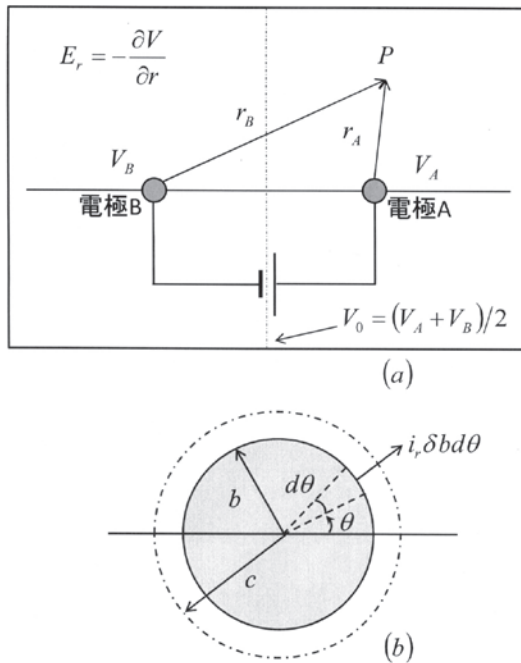


図4. 黒枠で示した導電紙の上に置いた電極周りの等電位線

一方、電極から r 方向のある位置における電界 E_r と電位 V の間には、

$$E_r = -\frac{\partial V}{\partial r} \cdots \cdots \cdots (10)$$

の関係がある。また、電極 A から流出する電流 I は、電極 B に流入する電流に等しく、電極 A の周りを一周する半径 b の経路で周積分を行えば得られる。図 4b に示すように平面状導電紙の厚みを δ とし、半径 b の円周上の θ から $\theta + d\theta$ の扇形部分から流出する電流は $i_r \delta b d\theta$ となる。 i_r は動径の増加する方向の電流密度とする。従って、電極全体から流出する電流 I は、円周上の 0 から 2π まで積分

すれば求まる。式(9)と(10)を考慮すれば、

$$\begin{aligned} I &= \int_0^{2\pi} i_r \sigma \delta a d\theta \\ &= -\sigma \delta \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial V}{\partial r} \right)_{r=b} a d\theta \cdots \cdots \cdots (11) \end{aligned}$$

が得られる。ここで再度、図 4b の一点破線で示すように、円柱を取り囲む半径 c の円を考えると、この円から流出した総電流もやはり I であるはずである。すなわち、

$$I = -\sigma \delta \int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial V}{\partial r} \right)_{r=c} b d\theta \cdots \cdots \cdots (12)$$

となるから、結局このような積分を満たす電流密度関数は半径 r のみの関数で、

$$\frac{dV}{dr} = -\frac{I}{2\pi\sigma\delta} \cdot \frac{1}{r} \cdots \cdots \cdots (13)$$

である。式(13)は積分できて、

$$V = -\frac{I}{2\pi\sigma\delta} \ln r + D \cdots \cdots \cdots (14)$$

となるが、ここに D は積分定数である。電極 A の電位を V_A とすれば、電極の半径は b であることから式(14)より、

$$D = V_A + \frac{I}{2\pi\sigma\delta} \ln b \cdots \cdots \cdots (15)$$

である。従って、

$$V - V_A = -\frac{I}{2\pi\sigma\delta} \ln \frac{r}{b} \cdots \cdots \cdots (16)$$

が得られる。次に電極 B に流入する電流は電極 A から流出する電流 I に等しいことから、式(16)の符号を考慮すれば、

$$V - V_B = \frac{I}{2\pi\sigma\delta} \ln \frac{r}{b} \cdots \cdots \cdots (17)$$

である。今、図 4a の点 P と電極 A と B との距離をそれぞれ r_A と r_B して、式(16)と(17)を両辺加え合わせると、

$$V - \frac{(V_A + V_B)}{2} = \frac{I}{2\pi\sigma\delta} \ln \frac{r_B}{r_A} \cdots \cdots \cdots (18)$$

ここで、 $V_A + V_B = 2V_0$ とおけば、

$$V - V_0 = \frac{I}{2\pi\sigma\delta} (\ln r_B - \ln r_A) \cdots \cdots \cdots (19)$$

となって、導電紙が均一であれば電極 A と B を結

ぶ二等分線の電圧は V_0 で、常にこの線上の電圧を基準に電圧を計測すれば、式(8)のポテンシャル線の式と相似の式なることが分かる。

結局のところ、電極 A と B を結ぶ二等分線の電圧を基準に電気の流れは流体の流れに、また電極 A は湧き出し、電極 B は吸い込みに対応しているわけである。式(19)に電極の項が消えたのは、2つの電極の半径は同じにしたからで、その外周は等電位となっていることも蛇足であるが付け加えておく。また、導電紙が電極の大きさに比べて十分広ければ、式(19)は電極の半径に無関係であり、実験装置を作るうえで重要なポイントである。

2.4 電流の流線の可視化

電流の流線と等電位線は直交することを学んだ。電圧は電気テスターで容易に計測できることから、等電位線の計測は容易である。しかし、電流の流線を直接計測することはなかなか難しい。そこで、磁力線と電流の流線との間にはアナロジーが成り立つことを利用すれば、電流の流線の可視化はできそうである。後述する湧き出しと吸い込み実験で用いた円柱電極と砂鉄を用いて、磁力線を可視化すればよいわけがある。最初円柱電極を離しておき、次第に近づけると二重湧き出しの流線の様子も可視化できる。

3 湧き出しと吸い込み実験

以上示したように、流体力学における湧き出しと吸い込みは導電紙の上に円形の電極を設け、その電極間に直流電圧を印加する装置を作ればよいわけであるから装置は極めて簡単である。

図4の黒枠はA4の導電紙である。この上に電極として円筒形のニッケルメッキを施したネオジム磁石2個を乗せる。実験機はスチール製でその表面は樹脂系の化粧板が施してあるから、磁石は紙抑えと電極を兼ねることができる。また、磁石は、供給電源のリード線の端子も鉄系材料を選ぶことで取り外しも極めて容易である。導電紙の抵抗は大きく電流は高々 $10\mu\text{A}$ 程度であるので、汎用の角型9V乾電池(006P)で十分である。また、電圧計としてデジタル電圧計は都合がよく、入力電圧レンジは自動よりは固定が好ましい。以上の装置で実験は開始できる。

学生実験では、等電位線計測を5-6個課している。また学生の一グループは5-6人であることから、各人それぞれ電極間隔を変えて、電極間隔を小さくした際の極限の等電位線を想像させるのも重要である。計測した等電位点は黒い導電紙に直接色々な記号でマークさせ、計測終了後A4方眼紙を重ねて針で転写し、さらにそれらの点を実線で連ねさせる。このようにして計測した磁石間隔が60mmの結果を図5に示す。導電紙は十分には広くないので、等電位線が大きくなると真円から次第に楕円に変形し、課す等電圧値には注意が必要である。図5には計測した等電位線の他に、電極(磁石)間隔を60mmにして10mm方眼紙の上に砂鉄を撒いて、磁力線(流線)を可視化した写真を重ねて

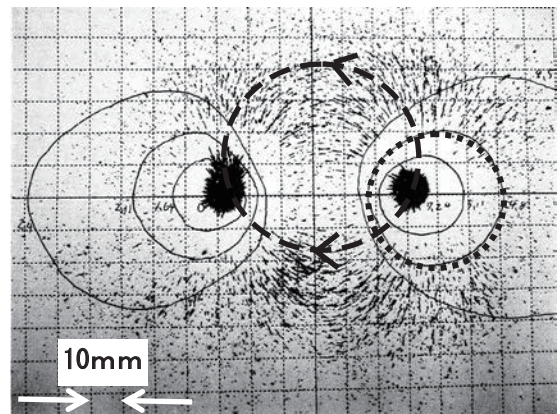


図5. 磁石の直径は8mm, その間隔が60mmの場合の実験から求めた計測点を連ねた等電位線(等ポテンシャル線)群を実線で示し、点線は計測した等電位線に合うように重ねた円を示す。また、砂鉄で磁力線(湧き出し吸い込みの流線に対応)を可視化し、破線は2つの磁石を通るよう描いた円を示す。

ある。さらに等電位線の1つには点線で描いた円と、磁力線の向きを読み取って破線で示した円も重ねて描写している。図2に示した当ポテンシャル線と流線群と概ね一致していることが分かる。

最後に、図6は直径8mmの磁石2個をくっつけて砂鉄で磁力線を可視化したもので、図3に示した二重湧き出しの流線とほぼ一致し、流線は二重湧き出し(x 軸)に接していることも理解できる。

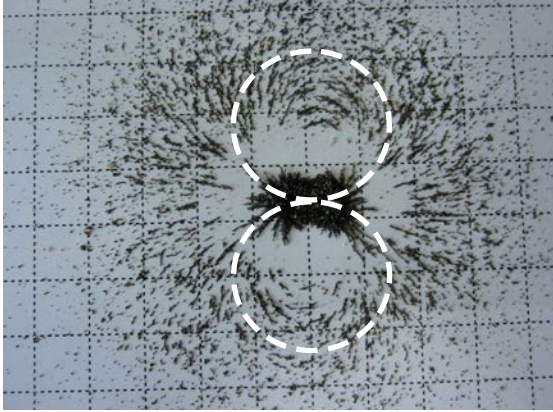


図 6. 直径 8mm の磁石 2 個をくっつけて砂鉄で磁力線（流線）を可視化し、破線は磁石を通るよう描いた 2 つの円を示す。

4 レポートの課題

課題の詳細は割愛するが、計測したほぼ円とみなせる等電位線群は式(19)で記述されることから、ある等電位線から $I/\sigma\delta$ が求まり、この値を用いて他の等電位線を円で近似した際、その直径や中心位置を求めることができる。また、湧き出しと吸い込みが無限小まで近づいて作る二重湧き出しの流線やポテンシャル線が、滑らかに接続する様子は、図 3 に示した流線とポテンシャル線を再度描かすことで、理解がさらに深まる。

5 まとめ

流体力学の複素速度ポテンシャル理論の理解促進に役立つ電磁気とのアナロジーを用いた簡単な電気実験の考案とアナロジー関数を導出した。また、湧き出し・吸い込み関数からその間隔を無限小まで近づけた極限である二重湧き出し関数の導出にあたっては、従来の手法とは異なり、理解促進に役立つよう、数学的にも合理的でしかも身近な式変形を導入した。

流体力学と電磁気学は異なる分野であるにもかかわらず共通の支配方程式に従っていることを気付かせ、自然現象に興味を抱かせることも狙いの 1 つである。さらに、自然の法則を記述している数関数は有限から無限への極限関数に滑らかに接続している美しさも魅力を駆り立てると信じている。

また、高校時代から何の役に立つか疑問を持ち

続けながら学んだ数学が少しでも身近な自然現象を理解する上で役に立っていることを実感させることも、実験担当者としてささやかであるが期待しているところである。

最後に、狙い通りに行っているかどうか本電気実験と風洞実験に関して、履修している学生にアンケートを実施し、履修生 48 名の半数から回答を得た。本小論に関する 3 つの質問事項は、

1) 湧き出し・吸い込みを限りなく近接させた極限関数は、湧き出し（吸い込み）関数の導関数（二重湧き出し：doublet）となることを理解できましたか。

2) 湧き出し・吸い込みの流線と、2 個の磁石の磁力線に対応させることができ、磁力線を砂鉄で可視化しました。等ポテンシャル線（等電位線）が磁力線（流線）と直交していることを理解できましたか。

3) ポテンシャル理論は少し難しいですが、この実験を契機にもっとポテンシャル理論を勉強したいと思いましたか。

質問 1) に対しては、全て普通ないしは理解できたと回答し、その内良くてきたと回答した学生は 14 名であった。質問 2) に対しても、全て回答が普通ないしは理解できたと回答し、特によくできたと回答した学生は 17 名であった。最後の質問は特に重要で、これをきっかけとしてポテンシャル理論をもっと勉強をしたいと思った学生はほぼ 6 割に達した。

最後に自由形式の感想あるいはコメントを書かせたところ、

- ・授業だけでは、深く理解することが出来なかったが、実験を行ったことで今までで一番深く理解できた。

- ・難しい実験だったが、勉強意欲をそそられる実験だった。

- ・かなり手軽に流体実験ができるので、やや理解しにくいところもありますが、非常に良い実験方法だと思います。

以上のように、本実験の狙いもほぼ達せられたと判断してよさそうである。

参考文献

- (1) 高木 正平：電気アナロジーを利用した循環をもつ円柱や翼周りの流線の可視化、可視化情報学会論文集。（投稿中）
- (2) 杉山 弘，遠藤 剛，新井 隆景：機械工学入門講座 流体力学，森北出版，1995

図 書 館 委 員

委員長	附 属 図 書 館 長	教 授	空 閑 良 壽
委 員	く ら し 環 境 系 領 域	准 教 授	藤 本 敏 行
〃	も の 創 造 系 領 域	准 教 授	佐 藤 信 也（紀要編纂部会委員）
〃	し く み 情 報 系 領 域	准 教 授	桃 野 直 樹（紀要編纂部会委員）
〃	ひ と 文 化 系 領 域	准 教 授	高 坂 良 史（紀要編纂部会部会長）
〃	建 築 社 会 基 盤 系 学 科	講 師	市 村 恒 士
〃	機 械 航 空 創 造 系 学 科	准 教 授	澤 口 直 哉
〃	応 用 理 化 学 系 学 科	准 教 授	飯 森 俊 文
〃	情 報 電 子 工 学 系 学 科	准 教 授	佐 藤 信 也（紀要編纂部会委員）
〃	全 学 共 通 教 育 セ ン タ ー	准 教 授	高 坂 良 史（紀要編纂部会部会長）
〃	情 報 メ デ ィ ア 教 育 セ ン タ ー	准 教 授	石 田 純 一
〃	図 書 ・ 学 術 情 報 事 務 室	エディトリアル	結 城 憲 司（紀要編纂部会委員）

平成26年 3 月18日 印 刷 (非売品)
平成26年 3 月18日 発 行

編 集 室 蘭 工 業 大 学
発 行 行
〒050-8585 室蘭市水元町27-1

印 刷 株式会社 日 光 印 刷
室蘭市寿町2丁目3番1号
TEL (0143) 47 - 8 3 0 8

表紙デザイン 目 黒 泰 道

